



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

CÁSSIO FERNANDES DE ARAÚJO

**INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS EMULSÕES  
DE ÓLEO ESSENCIAL DA CASCA DA CANELA (*Cinnamomum cassia*)**

ANANINDEUA - PA

2023

CÁSSIO FERNANDES DE ARAÚJO

**INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS EMULSÕES  
DE ÓLEO ESSENCIAL DA CASCA DA CANELA (*Cinnamomum cassia*)**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Faculdade de Engenharia de Materiais do *campus* Universitário de Ananindeua da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção de Grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva Paula

ANANINDEUA - PA

2023

CÁSSIO FERNANDES DE ARAÚJO

**INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS EMULSÕES DE ÓLEO ESSENCIAL DA CASCA DA CANELA (*CINNAMOMUM CASSIA*)**


Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Faculdade Engenharia de Materiais do *campus* Universitário de Ananindeua da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção de Grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva Paula

Data de Aprovação: 12/12/2023

Conceito: Excelente


**Examinado por:**

Documento assinado digitalmente  
 **MARCOS VINICIUS DA SILVA PAULA**  
Data: 18/12/2023 14:49:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva Paula – FEMat/UFPA


Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **DEIBSON SILVA DA COSTA**  
Data: 18/12/2023 18:25:19-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Deibson Silva da Costa – FEMat/UFPA

Examinador Interno

Documento assinado digitalmente  
 **DILSON NAZARENO PEREIRA CARDOSO**  
Data: 18/12/2023 18:10:19-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Dilson Nazareno Pereira Cardoso – UFPA/GUAMÁ

Examinador Externo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A658i ARAÚJO, CASSIO FERNANDES DE.  
INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-  
QUÍMICAS DAS EMULSÕES DE ÓLEO ESSENCIAL DA  
CASCA DA CANELA (*Cinnamomum cassia*) / CASSIO  
FERNANDES DE ARAÚJO. — 2023.  
61 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva Paula  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade  
Federal do Pará, Campus Universitário de Ananindeua, Curso de  
Engenharia de Materiais, Ananindeua, 2023.

1. Nanomateriais. 2. Emulsões. 3. Emulsificação  
espontânea. I. Título.

CDD 620.11

---

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus pelo dom da vida. Chegar até aqui é resultado da graça e misericórdia do Pai.

Dedico este trabalho de conclusão de curso ao meu pai, Ivaldo de Araújo Silva (*in memoriam*), que sonhava em ver seu filho formado pela UFPA.

Agradeço também à minha mãe, Luci Mary Fernandes de Araújo, que sempre me apoiou em todas as minhas empreitadas, acreditando em mim e na realização desse sonho, mesmo diante dos desafios.

Aos meus amigos de jornada, Matheus Oliveira e Hemison Barbosa, que estiveram ao meu lado desde o princípio, ouvindo todos os meus dilemas.

Aos queridos pastores João Henrique Pires e Sueli Pires, que estiveram presentes desde o início, quando tudo isso era apenas uma ideia. É uma alegria tê-los aqui hoje compartilhando este momento.

Aos meus amigos de graduação Josias Neto e Felipe Pereira, do começo ao fim em toda as atividades sempre juntos.

Ao Campus Universitário de Ananindeua, pelo acolhimento desde 2019 e pelo suporte durante toda a graduação.

Ao Professor Marcos Vinicius, por aceitar me orientar e fornecer suporte ao longo do processo.

Ao Laboratório de Química Geral do *campus* de Ananindeua, ao laboratório de Polímeros e aos laboratórios do LEQ no Guamá.

Aos professores da FEMat, que me guiaram até este momento presente.

O meu sincero agradecimento a todos.

## RESUMO

Recentemente, há um aumento significativo na procura por nanomateriais devido ao surgimento de novos desafios que os métodos convencionais não conseguem resolver. Esse aumento na demanda está principalmente relacionado à degradação de alimentos e à propagação de microrganismos resistentes, o que tem um impacto financeiro significativo nas empresas que produzem bens de consumo, afetando indiretamente a sociedade em geral. Grandes centros de pesquisa estão concentrados em encontrar materiais eficazes que possam superar essas dificuldades sem causar danos ao meio ambiente ou à saúde. Nesse contexto, as emulsões surgiram como uma solução promissora para esses problemas. Portanto, o objetivo deste estudo é investigar como o tempo de armazenamento afeta as características físico-químicas das emulsões obtidas pelo método de emulsificação espontânea. Estas emulsões são produzidas por meio de óleo essencial de casca de canela (*Cinnamomum cassia*) a 6% e 3% (v/v), juntamente com óleo de coco como inibidor do amadurecimento de Ostwald (MO) e Tween 80 como surfactante. Para caracterizar as amostras preparadas, foram realizadas análises visuais, espectroscópicas, de pH e viscosidade. Os resultados mostraram que a amostra OECC 02 apresentou boa estabilidade ao longo do período de armazenamento, com baixa turbidez. No entanto, o oposto foi observado para a amostra OECC 01. Além disso, as medições de pH e viscosidade revelaram pequenas variações ao longo do tempo. Com base nos resultados, fica evidente que esse método tem o potencial de ser aprimorado e incorporado em embalagens ativas de alimentos, visando prolongar sua vida útil.

**Palavras-chave:** Nanomateriais, Emulsões, Emulsificação Espontânea.

## ABSTRACT

Recently, there has been a significant increase in demand for nanomaterials due to the emergence of new challenges that conventional methods cannot solve. This increase in demand is mainly related to food degradation and the spread of resistant microorganisms, which has a significant financial impact on companies that produce consumer goods, indirectly affecting society in general. Large research centers are focused on finding effective materials that can overcome these difficulties without causing damage to the environment or health. In this context, emulsions have emerged as a promising solution to these problems. Therefore, the aim of this study is to investigate how storage time affects the physicochemical characteristics of emulsions obtained by the spontaneous emulsification method. These emulsions are produced using cinnamon bark essential oil (*Cinnamomum cassia*) at 6% and 3% (v/v), together with coconut oil as an Ostwald ripening inhibitor (MO) and Tween 80 as a surfactant. Visual, spectroscopic, pH and viscosity analyses were carried out to characterize the prepared samples.

**Keywords:** Nanomaterials, Emulsions, Spontaneous Emulsification.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(OE) Óleo essencial

(NE) Nanoemulsão

(OECC) Óleo essencial da Casca da canela

(T-80) Tween®80

(Abs) Absorbância

(UV-Vis) Espectroscopia ultravioleta-visível

(t-0) Tempo zero

(t-15) Tempo quinze

(t-30) Tempo trinta

(O/A) Óleo-em-água

(A/O) Água-em-óleo

(O/A/O) Óleo em água em óleo

(A/O/A) Água em óleo em água

(MO) Amadurecimento de Ostwald

Trans(%) Percentagem de transmitância

(LABQUIM) Laboratório de Química (UFPA) Universidade Federal do Pará.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\eta$	viscosidade
pH	Potencial hidrogeniônico
s	Segundos
g	Massa em gramas
mL	Mililitro
$\lambda$	Comprimento de onda
%	Percentual
nm	Nanômetro
Pa.s <sup>-1</sup>	Pascal /segundo
$\sigma$	Desvio Padrão.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Árvore de Canela ( <i>Cinnamomum cassia</i> ). .....	16
Figura 02: Estrutura molecular dos principais componentes do óleo essencial da <i>Cinnamomum cassia</i> .....	19
Figura 03: Ilustração dos sistemas de emulsão.....	22
Figura 04: Ilustração do sistema emulsionado.....	28
Figura 05: Análise Visual das amostras OECC 01 e OECC 02.....	30
Figura 06: OECC 01, após trinta dias .....	31
Figura 07: Medição de turbidez a 600 nm nos tempos de armazenamento 0,15 e 30 dias.....	32
Figura 08: Espectros de absorvância para as emulsões nos tempos de 0, 15 e 30 dias.....	34
Figura 09: Medição de pH no intervalo de 0, 15 e 30 dias.....	36
Figura 10: Amostras OECC 01 e OECC 02 no decorrer de zero, quinze e trinta dias em relação de viscosidade e taxa de cisalhamento.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Reagentes utilizados.....	26
Tabela 2: Materiais e equipamentos utilizados.....	26
Tabela 3: Amostra OECC 01 .....	27
Tabela 4: Amostra OECC 02.....	27
Tabela 5: Medição de Transmitância: OECC 01, OECC 02 e OECC.....	32
Tabela 6: Medição de pH: OECC 01 e OECC 02 .....	36

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 OBJETIVO.....</b>	<b>15</b>
1.2.1 Objetivo Geral.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
2.1 Canela – Oléo essencial e propriedades antioxidantes.....	16
2.2 Compostos químicos isolados do óleo essencial da canela.....	18
2.3 Atividade antimicrobiana do óleo essencial da casca de canela.....	21
2.4 Emulsão.....	22
2.5 Técnicas para preparação de emulsões.....	23
2.6 Aplicações das emulsões.....	25
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
3.1 Reagentes e materiais.....	26
3.2 Metodologia aplicada.....	27
3.2.1 Formulação das emulsões.....	27
3.2.2 Caracterização das emulsões.....	28
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>
4.1 Análise visual.....	30
4.2 Medição de Turbidez.....	31
4.3 Leitura de Absorbância (abs).....	33
4.4 Medições de Potencial Hidrogenônico (pH).....	36
4.5 Medições Reológicas: Viscosidade dinâmica.....	38

<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>42</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>43</b>
<b>8 APÊNDICE .....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No universo da ciência e da tecnologia, a busca incessante por soluções inovadoras para atender às necessidades humanas tem levado ao desenvolvimento de novas abordagens no campo da química, farmacologia e engenharia de materiais. (PORTO, 2020)

Uma dessas áreas em ascensão é a pesquisa de emulsões e nanoemulsões com óleo essencial, uma categoria de sistemas coloidais que promete revolucionar a entrega de compostos bioativos, como o óleo essencial de canela, em uma ampla gama de aplicações. (JOANITTI, 2022)

A história dos óleos essenciais é uma jornada que se estende por milênios e abrange uma riqueza de culturas e civilizações. O uso de óleos essenciais remonta ao Antigo Egito, onde eram empregados em rituais religiosos, cuidados com o corpo e na preparação de unguentos e perfumes. (VELOSO; NEVES, 2020)

No entanto, os benefícios terapêuticos dessas substâncias também foram reconhecidos em civilizações antigas como a Grécia e Roma, onde destacados médicos e filósofos como Hipócrates e Plínio, o Velho, reconheceram suas propriedades medicinais, avançando em estudos durante a idade média até a pós-modernidade, onde os mesmos tem obtido diversas aplicabilidades, sendo uma delas as emulsões. (BASER; BUCHBAUER 2020; BEVILACQUA, 2022)

Para compreender plenamente o impacto dessa tecnologia, é necessário explorar não somente a rica história dos óleos essenciais, quanto o avanço das emulsões e suas vantagens tecnológicas. As emulsões, são uma forma de sistema coloidal, e elas representam um dos avanços significativos quando aplicadas como nanoemulsões na nanotecnologia e na ciência de materiais. (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019).

Tendo em vista que uma nanoemulsão consiste em pequenas gotículas de óleo ou lipídios dispersas em uma fase aquosa, com diâmetro médio de partícula na escala nanométrica. (HASAN *et al.*, 2020) A capacidade das NEs de solubilizar substâncias lipofílicas em meios aquosos oferece inúmeras vantagens em aplicações que vão desde fármacos até cosméticos e alimentos. (LIMA *et al.*, 2023)

Não por acaso que, até o presente momento, vários óleos essenciais obtiveram uma atenção acentuada na literatura quando o cerne do assunto é emulsões e nanoemulsões, sendo possível citar: Tomilho - *Thymus vulgaris* (ALMASI *et al.*, 2021), Hortelã - *Mentha piperita* (NAZEM *et al.*, 2019), Rosa - *grandiflora* (YI *et al.*, 2019), Eucalipto - *Eucalyptus* (SONG *et al.*, 2022), Capim-limão - *Cymbopogon citratus* (BALTI *et al.*, 2018), Pimenta-do-reino - *Piper*

*nigrum* (ZHANG *et al.*, 2021), Manjerição - *Ocimum basilicum* (SUNDARARAJAN *et al.*, 2018), Cravo-da-índia - *Syzygium aromaticum* (BANERJEE *et al.*, 2020;), outros. Dentre esses, a canela tem sido alvo de estudos relevantes devido suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas, juntamente aos demais citados.

O processo de emulsificação envolve a redução controlada do tamanho das gotículas de óleo a dimensões nanométricas, geralmente alcançadas por meio de técnicas como ultrassom de alta intensidade e homogeneização de alta pressão.(FERREIRA, 2023) A tecnologia por trás das nanoemulsões tem o potencial de otimizar a eficácia da entrega de substâncias ativas, aumentar a biodisponibilidade e melhorar a estabilidade dos compostos lipofílicos. (DURÃO, 2023)

A aplicação das oemulsões na entrega do óleo essencial de canela abre um horizonte de vantagens tecnológicas. (DA SILVA *et al.*, 2021; NASCIMENTO NETO, 2023). Primeiramente, a redução das partículas de óleo a uma escala nanométrica aumenta a área de superfície disponível para interações com o organismo, promovendo uma absorção mais rápida e eficaz das propriedades terapêuticas do óleo essencial (BENITE *et al.*, 2022).

Além disso, as emulsões tendem a oferecer uma estabilidade notável, protegendo o óleo essencial de canela contra a degradação e a oxidação, fatores que frequentemente comprometem a eficácia e a qualidade dos produtos à base de óleos essenciais.(BATISTI *et al.*, 2022) Isso resulta em produtos com maior vida útil e preservação das propriedades terapêuticas por mais tempo (SANTA ROSA, 2022).

Por fim, as emulsões têm uma aplicação versátil em diversos setores, como a indústria farmacêutica (PIRES, 2022), cosmética (FARIAS, 2023), alimentícia (MAIA FILHO, 2023) dessa forma a produção de produtos a partir do entendimento de emulsões amplia a utilidade do óleo essencial de canela em inúmeras áreas. Assim, este estudo buscou analisar o impacto do tempo de armazenamento nas características físico-químicas das emulsões produzidas a partir do óleo essencial da casca de canela (*Cinnamomum cassia*), obtidas por emulsificação espontânea, para possíveis aplicações no setor de embalagens e curativos.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Devido a crescente demanda por materiais de natureza biotecnológica, que visam substituir os materiais sintéticos frequentemente associados a impactos ambientais adversos, efeitos colaterais à saúde e à geração de poluentes.

Para alcançar esse propósito, o estudo utiliza o óleo essencial da casca da canela como precursor, principalmente devido às suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas, que não acarretam efeitos colaterais adversos para a saúde humana e têm um impacto ambiental mínimo. Além disso, a pesquisa emprega a emulsão como parte fundamental do processo.

Por tanto, este trabalho busca contribuir para a solução de questões emergentes, como a deterioração de alimentos e a disseminação de microrganismos resistentes a múltiplos tratamentos, problemáticas que assumem uma dimensão preocupante em escala continental.

## **1.2 OBJETIVO**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Analisar o impacto do tempo de armazenamento nas características físico-químicas das emulsões produzidas a partir do óleo essencial da casca de canela (*Cinnamomum cassia*), com a finalidade de determinar parâmetros para a inserção das mesmas na fabricação de filmes destinados para revestir embalagens que proporcionem resistência à degradação de alimentos, utilizando o seu potencial antimicrobiano.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar a formulação de uma emulsão com óleo essencial da casca de canela que seja estável;
- Observar aspectos visuais da emulsão no espaço de zero, quinze e trinta dias;
- Caracterizar as NEs isoladamente quanto as suas propriedades físico-químicas: Turbidez (Transmitância-UV-Vis), Estabilidade física (Absorbância-UV-Vis), Viscosidade dinâmica(Viscosímetro Rotacional) e pH (pHmetro);

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Canela – Óleo essencial e Propriedades antioxidantes

A canela é uma especiaria que possui uma rica e fascinante historicidade, remontando a milênios de uso e comércio. Originária do Sri Lanka, a canela era tão valorizada na antiguidade que era considerada um tesouro tão precioso quanto o ouro. Seu comércio era altamente lucrativo e desempenhou um papel importante nas rotas de especiarias que ligavam o Oriente e o Ocidente (RAVINDRAN, 2003). Ao longo dos séculos, a canela se espalhou para várias regiões do mundo, incluindo o Sudeste Asiático, a Índia, a China e o Oriente Médio. No entanto, manter o monopólio sobre a canela era uma prioridade para os mercadores árabes e venezianos, que protegiam cuidadosamente suas fontes e rotas comerciais (CZARRA, 2009).

A mesma obteve um papel significativo na história das explorações marítimas e colonização. No século XV, os portugueses desempenharam um papel fundamental na descoberta de novas fontes de canela e no estabelecimento de rotas comerciais na Ásia. Essas descobertas contribuíram para a expansão do comércio global de especiarias e influenciaram a história da colonização europeia nas regiões produtoras de canela. Hoje, a canela continua a ser uma especiaria apreciada por suas qualidades aromáticas e culinárias, com uma história que abrange séculos de valor cultural e econômico (KEAY, 2006).

Considerada uma das mais antigas especiarias com ampla distribuição em regiões tropicais e subtropicais do planeta, como é possível constatar na Figura 01 a seguir. Trata-se de árvore perene, podendo alcançar de 8 a 17 metros, cujas flores e cascas são fortemente aromáticas. Seu nome científico é *Cinnamomum cassia* e pertence à família *Lauracea*. O óleo essencial da canela pode ser obtido tanto da casca quanto da folha e possui ação antiespasmódica, anti-inflamatória, antibacteriana, antisséptica, anti-hipertensiva e inseticida (COSTA, 2019 e MORGADO,2023).

Figura 01: Árvore de Canela (*Cinnamomum cassia*).



O gênero *Cinnamomum* é constituído por cerca de 250 espécies, dentre essas encontra-se a *Cinnamomum cassia* (Canela) também conhecida como *Cinnamomum aromaticum*, Canela chinesa ou Cassia chinesa, pertencente à família Laurel (*Lauraceae*) do reino vegetal, colhida a partir da casca de sua árvore, originária do Sri Lanka e comumente cultivada em países como a Índia, China, Uganda, Vietnã, Bangladesh e Paquistão. Ao longo da história a canela tem sido reconhecida por suas propriedades, dessa forma como resultado a mesma tornou-se alvo da produção de óleos essenciais, tendo como objetivo aplicar os compostos químicos que a própria possui de maneira específica de acordo com as demandas que foram criadas no decorrer dos anos (ZAIDI et al., 2015; VIJAYAN; MAZUMDER, 2018).

Os óleos essenciais são substâncias voláteis, líquidas, hidrofóbicas, aromatizadas e oleosa, que contêm uma ampla gama de monoterpenos e sesquiterpenos. A atividade biológica desses óleos depende da sua composição, a qual pode variar de acordo com fatores como o local de cultivo, o método de extração, a parte da planta utilizada, a estação do ano e o processo de obtenção (SIVAMARUTHI et al., 2022).

Eles são constituídos por hidrocarbonetos terpênicos, álcoois simples e terpênicos, fenilpropanóides, aldeídos, cetonas, fenóis, ésteres, éteres, óxidos, peróxidos, furanos, ácidos orgânicos, lactonas e cumarinas (AGUIAR et al., 2014). Os óleos essenciais são uma excelente escolha para a promoção de ações antioxidantes e antimicrobianas, uma vez que apresentam uma ampla variedade de propriedades eficazes contra diversos microrganismos. Os terpenos, componentes presentes em sua composição, exibem efeitos antimicrobianos, enquanto os terpenoides demonstram atividades antioxidantes e antibacterianas (MASYITA et al., 2022).

Os óleos essenciais possuem substâncias líquidas, complexas, bioativas, voláteis, com um odor e cor distintivos. Eles são armazenados em células epidérmicas, glândulas secretoras, cavidades e canais, e são produzidos a partir de metabólitos secundários de plantas que se encontram em caules, flores, galhos, cascas, brotos, sementes, frutas e folhas. Suas funções primárias estão associadas à reprodução, visto que desempenham um papel na atração de polinizadores, como abelhas, moscas e aves, para facilitar a dispersão de pólen e sementes, além de servirem como mecanismo de proteção contra predadores, incluindo insetos e microrganismos (ALMEIDA, et al. 2020).

Para a extração de óleos essenciais, são empregadas várias técnicas, incluindo a prensagem a frio, que é usada para obter óleos de frutos cítricos; a turbodestilação, utilizada na extração de óleos de plantas com tecidos que retêm a seiva de forma mais intensa; e a enfleurage, aplicada a óleos que são instáveis e propensos a perder seus componentes aromáticos se extraídos de outras maneiras (KOCH; LEITZKE; MONZANI, 2014).

A hidrodestilação é a técnica mais comumente utilizada e pode ser realizada de três maneiras diferentes: destilação com água, na qual o material vegetal é submerso em água; destilação com água e vapor, na qual o material vegetal é colocado acima do nível da água líquida;

e destilação direta com vapor de água, na qual o material vegetal é colocado em um recipiente onde é injetado apenas vapor de água (VALENTIM; SOARES, 2018).

A destilação com vapor de água é frequentemente preferida devido à sua simplicidade e ao baixo custo do processo. Ela se baseia na diferença de volatilidade dos compostos presentes no material vegetal, onde os vapores gerados na caldeira passam através do material vegetal contido no extrator e são posteriormente resfriados no condensador. Esse resfriamento resulta na condensação do óleo essencial, que é posteriormente separado da água em um decantador (STEFFENS, 2010).

A técnica de destilação para obtenção do óleo essencial é particularmente relevante quando se considera a extração de óleo essencial da casca da canela, sendo a mais utilizada, pois mantém os compostos desejados para aplicações futuras, como na área da saúde, alimentícia, farmacêutica e até mesmo em cosméticos, através dos seus compostos antioxidantes, tendo em vista que estudos demonstraram que a canela e seu óleo essencial possuem uma ampla gama de propriedades benéficas para a saúde (MORGADO, 2023).

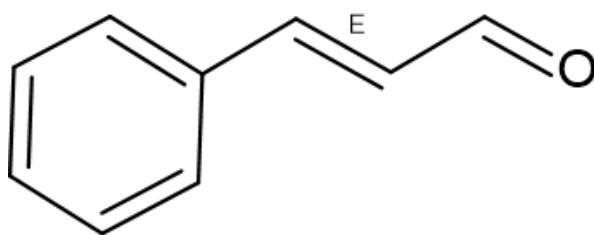
Os efeitos da canela foram comprovados em diversos estudos, como estudos clínicos em aplicação da saúde em relação a taxa metabólica, tais como controle hormonais e variações, tendo em vista que de acordo com os autores, a canela, tal como seu óleo essencial, como matéria-prima para produtos médicos, apresenta efeitos como protetor cardiovascular, antitumoral, anti-inflamatório, analgésico, antidiabético, antiobesidade, antibacteriano, antiviral, antioxidante, dentre outros efeitos, tendo alto valor econômico (ZHANG et al., 2019 e SILVA, 2018).

Devido a sua variada composição, no decorrer dos anos a canela foi evidenciada diversas vezes como detentora de compostos que apresentam atividade biológica antifúngica, antioxidante, antidiabética, antihipertensiva, gastroprotetora e imunomoduladora, além de auxiliar no tratamento da síndrome metabólica, síndrome dos ovários policísticos e na sensibilidade à insulina como comprovada em literatura (HAJIMONFAREDNEJAD et al., 2018; HARIRI; RANASINGHE et al., 2013; SHARMA et al., 2020; WANG et al., 2020).

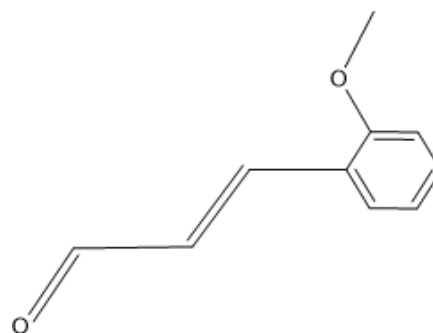
## **2.2 Compostos químicos identificados no óleo essencial da casca da canela**

Estudos realizados por Li, Kong e Wu (2013) identificaram que o trans-cinamaldeído (66.28–81.97%),  $\alpha$ -guaieno (1.51–7.62%), copaeno (0.58–3.86%), 2-propenal, 3-(2-metoxifenil) (0.98–2.59%), cis-cinamaldeído (0.72–2.29%),  $\alpha$ -muuroleno (0.11–1.83%) e  $\alpha$ -calacoreno (0.57–1.28%) são os componentes em maiores concentrações no óleo extraído da *Cinnamomum cassia*. Já estudos feitos por Li e colaboradores (2021) utilizando a mesma técnica apontaram o conteúdo relativo dos principais grupos, cujo os componentes em maior abundância são: trans-cinamaldeído (69.75%), 2-metoxicinamaldeído (5.92%), copaeno (4.01%),  $\beta$ -cadineno (3.55%) e eugenol (2.59%). As estruturas moleculares dos principais componentes estão descritas na Figura 02.

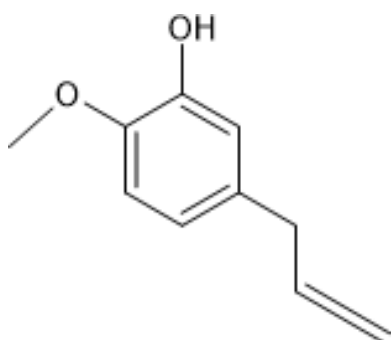
Figura 02: Estrutura molecular dos principais componentes do óleo essencial da *Cinnamomum cassia*.



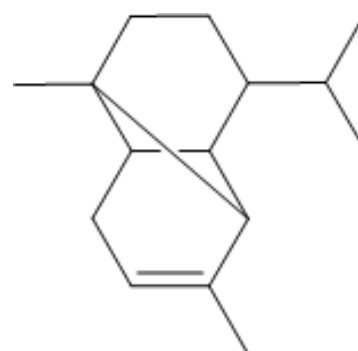
Trans-cinamaldeído



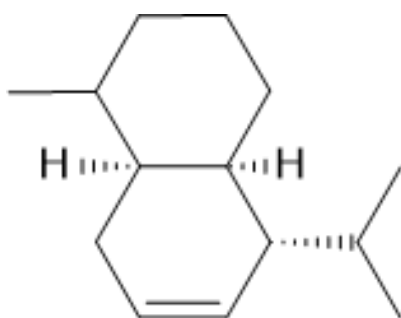
2-Metoxicinamaldeído



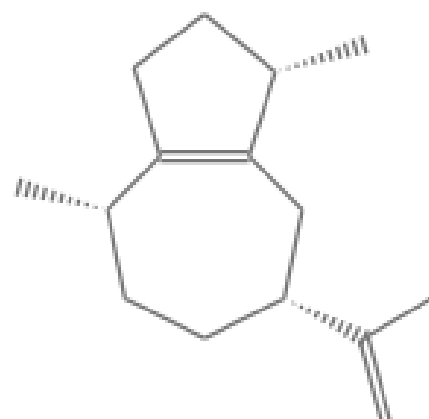
Eugenol



Copaeno



$\beta$ -cadieno



$\alpha$ -guaieno

Fonte: Adaptado de Li *et al.* (2021)

O Trans-cinamaldeído, também denominado de (E)-cinamaldeído, é um óleo de coloração amarelada, que possui cheiro de canela e sabor adocicado, solúvel em éter e clorofórmio e miscível em álcool e óleos, com um ponto de ebulição de 250 °C, sendo obtido através da extração da casca de árvores do gênero *Cinnamomum* (UGARTE, 2012).

Sendo visto como um composto orgânico natural que atua como antioxidante devido às suas propriedades químicas e estrutura molecular, o trans-cinamaldeído possui ação antioxidante devido à sua capacidade de neutralizar os danos causados pelos radicais livres, que são estabelecidas como moléculas instáveis altamente reativas que podem danificar células e biomoléculas em compostos (MACARÁRIO, 2023).

O mesmo pode atuar com a efetividade do seu grupo aldeído (-CHO) na captação de radicais livres, sendo capaz de doar elétrons a espécies reativas de oxigênio, essa troca de elétrons neutraliza essas espécies, impedindo que causem danos oxidativos. Atuam também como inibidores de oxidação de lipídios, já que os radicais livres podem iniciar reações em cadeias de oxidação de lipídios, levando à formação de compostos tóxicos (BANG, 2000).

O trans-cinamaldeído atua como um antioxidante lipossolúvel, ajudando a prevenir a oxidação de lipídios, o que é particularmente relevante na preservação de alimentos e na proteção de membranas celulares. Os mecanismos antioxidantes dos óleos essenciais são baseados tanto em sua capacidade de doar um hidrogênio ou um elétron para os radicais livres, quanto em sua capacidade de deslocar o elétron desemparelhado dentro da estrutura aromática, protegendo, dessa forma, outras moléculas biológicas contra a oxidação (FERNANDEZ-PANCHON et al., 2008).

Tal substância é o principal componente ativo do óleo essencial extraído da casca de canela, responsável sendo responsável por atividades anti-inflamatórias (GUNAWARDENA *et al.*, 2015), antimicrobianas, como o combate a fungos (SRISA; HARNKARNSUJARITA, 2020), anticorrosivas, quando adsorvido na superfície do aço e outras diversas aplicações (AVDEEV; KUZNETSOV; BURYAK, 2013).

É importante ressaltar a presença de outros compostos em menor quantidade, mas que são de grande relevância para a efetividade dos benefícios esperados dos compostos químicos presentes no óleo essencial da casca da canela, como o Eugenol, que é visto em diversos estudos, como em (CORTÉS-ROJAS *et al.* 2014) que constatou o eugenol como permitidor de doação de um átomo de hidrogênio e posterior estabilização do radical fenoxil formando compostos estáveis que não iniciam ou propagam a oxidação.

Ao que foi retratado a cerca da presença em porcentagem menor de Eugenol, de acordo com a literatura a espécie *Cinnamomum cassia* é uma planta aromática e medicinal pertencente à família Lauraceae cujo óleo essencial obtido da casca contém aldeído cinâmico 55~60%, seguido do eugenol com índices abaixo de 12%, enquanto nas folhas encontraram-se o eugenol em até 94%, como composto majoritário, e traços de aldeído cinâmico baixo, em alguns casos beirando 1% (SRISA; HARNKARNSUJARITA, 2020).

### 2.3 Atividade antimicrobiana do óleo essencial da casca de canela

Sobre as várias funcionalidades dos óleos essenciais, sua capacidade antimicrobiana tem sido uma das mais estudadas nos últimos anos. Seu modo de ação nos diferentes na vida microbiana está associado aos seus componentes (Souza, 2015). O mecanismo de ação dos óleos essenciais nas células bacterianas diz respeito, principalmente, a danos estruturais e funcionais à membrana citoplasmática (SIKKEMA; DE BONT; POOLMAN, 1994).

Uma importante característica dos óleos essenciais é a lipofilicidade, o que permite que os óleos passem por meio da parede celular e membrana citoplasmática, rompendo a estrutura de diferentes camadas de polissacarídeos, ácidos graxos e fosfolipídios, quebrando-os e, assim, alterando a permeabilidade dessas organelas (BAKKALI *et al.*, 2008; BURT, 2004; LAMBERT *et al.*, 2001).

Estudos presentes na literatura contemporânea constataram que o óleo essencial da canela exerce forte atividade antimicrobiana, inibindo o crescimento de bactérias Gram positivas, Gram negativas, leveduras e fungos filamentosos (GOMES, 2023 e OLIVEIRA, 2017).

A incorporação de formulações à base de óleo essencial em sistemas de liberação até mesmo nanométricos, que é esperado do presente estudo, são capazes de diminuir a volatilidade, melhorar a estabilidade química, a solubilidade em água, além de manter a eficácia terapêutica destes compostos (MENDES *et al.*, 2023; BRANDÃO, *et al.*, 2022; NEPOMUCENO *et al.*, 2018 e GOMES, 2023).

Em estudos prévios, há diversas abordagens a cerca do modo como os óleos essenciais se comportam no quesito antimicrobiano, como nos danos, provocados pelos compostos bioativos, à integridade da membrana celular bacteriana resultando em uma interação que leva à ruptura completa (extravasamento) e à perda irreversível de viabilidade (BORA *et al.*, 2020). Assim como o aumento na permeabilidade da bicamada fosfolipídica celular que ocorre devido à lipofilicidade dos óleos essenciais e ao aumento da molhabilidade, possibilitando a transferência dos componentes antibacterianos dos óleos essenciais. Isso resulta em um efeito inibitório sobre as bactérias (MOGHIMI *et al.*, 2016).

A constatação da eliminação de radicais livres constituintes do corpo celular que por sua vez promovem um efeito inibitório reduzindo a síntese de ergosterol, prejudicando a formação de tubos reprodutivos (MUTHAIYAN *et al.*, 2012); estudos que comprovaram que existe a afetação do metabolismo energético (liberação, transferência e utilização de energia-ATP), inibindo o crescimento celular (CRUZ *et al.*, 2021); Assim como a constatação do quimerismo no DNA, levando a inibição da atividade biológica (WANG *et al.*, 2020).

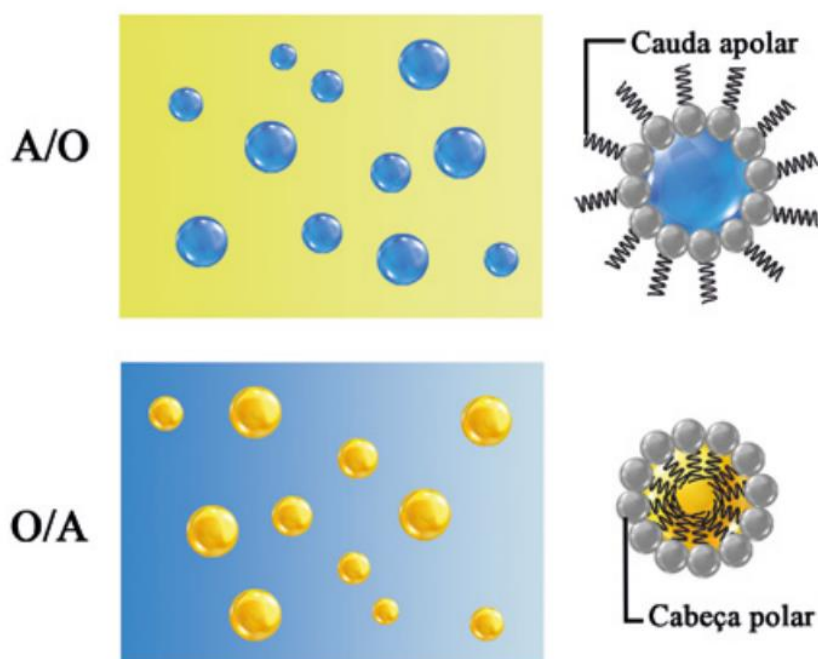
## 2.4 Emulsão

As emulsões, assim como as nanoemulsões, são um tipo de carregadores como materiais nanométricos que podem realizar o transporte de múltiplos fármacos, agentes e/ou compostos bioativos. Eles possuem uma elevada área de superfície/volume e são utilizados para aumentar a concentração de fármacos ou bioativos em determinado local, promovendo a liberação sustentada destes e minimizando sua degradação (NASEEMA 2020). Dentre os carregadores e nanocarregadores mais estudados, além das nanoemulsões, podem-se citar nanopartículas poliméricas, nanotubos de carbono e nanopartículas de ouro (JOANITTI, 2022).

As emulsões são um tipo de partícula compostas por dispersões coloidais de líquidos imiscíveis, do tipo água em óleo (A/O) ou óleo em água (O/A), estabilizadas por um surfactante que contribui para a manutenção do tamanho e propriedades para ser enquadrada como nanoemulsão deve ser estabelecida em nanoescala ( $10^{-9}$  m). A adição de um surfactante é necessária para a formação das nanogotículas, uma vez que essa molécula diminui a tensão interfacial, isto é, a energia superficial por unidade de área entre as fases de óleo e de água. Além disso, pode desempenhar um papel estabilizante para as emulsões, por meio de interações eletrostáticas repulsivas (NASEEMA, 2020 e GUPTA *et al.*, 2016).

Emulsões e nanoemulsões são caracterizadas pela sua notável estabilidade cinética, o que significa que elas resistem a mudanças físico-químicas no ambiente em que estão inseridas, como variações de pH, temperatura, pressão e diluição. No entanto, ao longo do tempo (geralmente ao longo de anos), suas fases tendem a se separar, formando um complexo heterogêneo. A Figura 03 ilustra de forma esquemática os sistemas de emulsão óleo em água (O/A) e água em óleo (A/O):

Figura 03 – Ilustração dos sistemas de emulsão.



Na Figura 03, a seção amarela simboliza a fase rica em óleo, enquanto a parte azul representa a fase aquosa. Isso ocorre porque as partes apolares do agente tensoativo naturalmente se orientam em direção à fase oleosa, graças às suas características lipofílicas. Esses sistemas têm uma ampla gama de aplicações na agricultura, oferecendo uma alternativa promissora aos agroquímicos convencionais. Eles possibilitam a criação de nanodispositivos e nanobiossensores, que são usados para manipulação genética e detecção de resíduos desses compostos em plantas (FIGUEIRAS, 2014 e SEKHON, 2014).

O desenvolvimento de materiais por meio de síntese verde se torna um desafio ainda maior quando se deseja encapsular ou aprisionar princípios ativos altamente solúveis em lipídios. Entre as opções para transportar princípios ativos hidrofóbicos, as nanopartículas lipídicas (NPLs) e, em especial, as emulsões, são amplamente utilizadas como nanoveículos. Além disso, sistemas nanoestruturados que envolvem lipídios, como emulsões e NPLs, são geralmente considerados menos tóxicos para aplicações *in vivo* em comparação com outros nanomateriais (JOANITTI, 2022).

As emulsões consistem principalmente de matrizes lipídicas. É bem conhecido que certos compostos de carbono podem passar por alterações estruturais com barreiras energéticas, que podem ser atingidas mesmo à temperatura ambiente (CLAYDEN, 2012). Essas transformações englobam processos de oxidação fotoquímica e termoquímica, além de autoisomerização. A oxidação é um conjunto de reações químicas que se desencadeiam entre um agente oxidante e um agente redutor. De maneira mais direta, o agente oxidante é reduzido (recebe elétrons), enquanto o agente redutor é oxidado, perdendo elétrons (GUIMARÃES, 2008).

## 2.5 Técnicas para preparações de emulsões

As emulsões são um tipo de partícula que são dispersões coloidais de líquidos imiscíveis, do tipo água em óleo (A/O) ou óleo em água (O/A), estabilizadas por um surfactante que contribui para a manutenção do tamanho e propriedades em nanoescala ( $10^{-9}$  m) (SHARMA, 2013 e SAJJADI, 2003).

A adição de um surfactante é necessária para a formação das gotículas, uma vez que essa molécula diminui a tensão interfacial, isto é, a energia superficial por unidade de área entre as fases de óleo e de água. Além disso, pode desempenhar um papel estabilizante para as emulsões, por meio de interações eletrostáticas repulsivas (PATTNI, 2015).

As emulsões são sistemas com notória estabilidade cinética e instabilidade termodinâmica. Em outras palavras, apresentam resistência a mudanças físico-químicas no meio (pH, temperatura, pressão, diluição); porém, suas fases se separarão e formarão um complexo heterogêneo com o passar do tempo (geralmente na ordem de anos) (JOANITTI, 2022).

Para identificar a composição mais apropriada durante a elaboração de uma oemulsão, é essencial examinar os valores em que a relação entre a concentração de surfactante e óleo resulta

na formação de gotículas estáveis com os tamanhos desejados (MATSARIDOU, 2012). Há uma ampla gama de técnicas relatadas para obter emulsões, como ultrassom, emulsificação espontânea, homogeneização sob alta pressão, inversão de fases induzida por temperatura e outros (JOANITTI *et al*, 2022).

Para uma emulsão ser caracterizada como nanoemulsão é necessário que a mesma tenha partículas cujas dimensões variam na faixa de 100 a 600 nanômetros. Elas consistem em uma mistura de líquidos que normalmente não se misturam, compreendendo uma fase aquosa e uma oleosa, sendo estabilizadas por agentes tensoativos. Esse conjunto forma um sistema disperso, como descrito por (GUPTA *et al.*, 2016, FERREIRA, 2023).

É possível formar três tipos diferentes de emulsões, a depender da finalidade de uso da formulação, são elas: água em óleo (A/O), óleo em água (O/A), e emulsões múltiplas. As emulsões do tipo O/A são caracterizadas pela presença de água em maior quantidade, atuando como meio de dispersão, enquanto o óleo estará disperso nesse meio aquoso em forma de pequenas esferas, sendo esse o caso do presente estudo. (PORTO; ALMEIDA; VICENTINI, 2020).

Em vista disso, a vantagem das NEs é o tamanho reduzido de gota (molhabilidade elevada) o que permite rápida penetração dos componentes ativos, acrescentando a isso, a possibilidade de diluí-las com água sem alterar a distribuição do tamanho das gotículas. Dentre outras vantagens reportadas, inclui-se: a capacidade de serem filtradas, viscosidade relativamente baixa e melhoria das propriedades biológicas e físico-químicas, bem como facilidade de produção e aumento de escala (GUPTA, 2019; NAJAFI-TAHER *et al.*, 2018).

Ao tratar-se de emulsões e nanoemulsões é válido ressaltar que o modo de preparação é acompanhado juntamente com o modo de armazenamento da amostra, em estudos prévios foram constatadas interações indesejáveis por um armazenamento exposto a luz. Diante disso, o conhecimento da estabilidade oxidativa de uma emulsão ou nanoemulsão é uma informação necessária para se determinar a melhor forma de armazenamento e seu prazo de validade em relação às aplicações nutricionais, biomédicas ou cosméticas. Métodos espectrofotométricos e cromatográficos podem ser empregados para o monitoramento da peroxidação lipídica (SILVA, 1999).

De modo geral, as estratégias que visam controlar a estabilidade das emulsões incluem alterações em parâmetros como temperatura de armazenamento, força iônica da fase aquosa, solubilidade e composição dos reagentes da formulação e a concentração de surfactantes (GUPTA, 2016). Recomenda-se sempre buscar monitorar a estabilidade das emulsões produzidas, uma vez que tal avaliação impacta diretamente o armazenamento, a comercialização e a garantia de eficácia desses nanossistemas no momento de sua aplicação (JOANITTI *et al*, 2022).

Para além disso, as NEs possuem algumas propriedades físicas interessantes que as distinguem das emulsões comuns. As emulsões geralmente exibem uma forte dispersão múltipla de luz visível (efeito Tyndall) e, como resultado, apresentam uma aparência esbranquiçada

(HUNTER,1986). Por outro lado, as estruturas nas NEs são muito menores do que os comprimentos de ondas visíveis, parecendo opticamente transparentes (ZHANG et al., 2015).

## 2.6 Aplicações das emulsões

A utilização de emulsões e nanoemulsões em diversos segmentos, como na indústria alimentícia, a partir da nanoencapsulação de nutrientes para proteção contra oxidação, variação de pH e retenção de ingredientes voláteis; assim como na indústria farmacêutica, como sistemas carreadores de moléculas para que ocorra melhor biodistribuição e acúmulo das gotículas no alvo de interesse (FIGUEIRAS, 2014 e SEKHON, 2014).

Em vias médicas ou farmacêuticas podem ser utilizadas para carregar medicamentos por meio de barreiras compostas por células ou tecidos. Essas estruturas também podem ser aplicadas no combate ao câncer. Um dos problemas presentes na forma tradicional de tratamento (quimioterapia) é o desenvolvimento de células tumorais resistentes aos medicamentos (PIKTEL, 2016). Segundo Minko *et al.* (2013), essa resistência é adquirida por causa da baixa eficiência do tratamento, que, muitas vezes, não inviabiliza todas as células neoplásicas, favorecendo a proliferação das sobreviventes. Para minimizar o desenvolvimento de resistência aos medicamentos, estudos como os de Thakur (2013) que visam a utilização de nanoestruturas à base de óleos essenciais para encapsular os quimioterápicos, tem como objetivo aumentar sua efetividade e seu direcionamento para células tumorais, por meio da inserção de nanoemulsões em todo o processo (JOANITTI *et al.* 2022).

Com a finalidade de destacar o fundamento atualizado sobre o conteúdo do presente estudo, tendo como embasamento relatos anteriores, sobretudo para as aplicações das emulsões, os dados foram levantados de 1986 a 2023, sendo que mais de 60% das bibliografias consultadas foram publicadas nos últimos cinco anos. Plataformas de busca como Science direct, Web of Science, Pubmed, scopus, outras, foram utilizadas para levantar os dados pela entrada de palavras-chave como: canela, nanoemulsões, emulsões, óleo essencial da casca da canela, biofilmes, aplicações de nanoemulsões e aplicações de emulsões.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Reagentes e materiais

A descrição dos reagentes utilizados, com as suas respectivas descrições estão listadas a seguir, na Tabela 01.

Tabela 01 – Reagentes utilizados.

Reagentes	Descrição	Fornecedor
Óleo essencial da casca da canela ( <i>Cinnamomum cassia</i> )	Líquido viscoso, com coloração amarela e aroma característico da canela. Obtenção - Destilação a vapor da casca.	Terra Flor Essencial <sup>®</sup>
Óleo de Coco	Líquido viscoso, transparente e com aroma característico de coco. Puro óleo de coco ultra concentrado.	Essencial Nutrition <sup>®</sup> - MCT Lift.
Tween 80 (Polissorbato)	Chemical Abstracts Service (CSE): 9005-65-6	Êxodo Científica <sup>®</sup> (São Paulo, Brasil)

Fonte: Autor, 2023.

No que tange aos materiais e equipamentos utilizados na produção das emulsões, a Tabela 02 especifica os mesmos:

Tabela 02 – Materiais e equipamentos utilizados.

Materiais	Quantidade
Béquers	06
Agitador Magnético	01
Seringas (5ml)	02
Seringa (10 ml)	01
Frascos para armazenamento	02

Fonte: Autor, 2023.

## 3.2 Metodologia aplicada

### 3.2.1 Formulação das Emulsões:

Segundo a Tabela 03 e 04, é possível constatar a formulação utilizada para as emulsões formuladas no presente trabalho:

Tabela 03 - Amostra OECC 01.

Composição	mL	%
Óleo essencial de casca de canela	2,4 mL	6%
Óleo de Coco	1,6 mL	4%
Tween 80	4,0 mL	10%
Água destilada	32 mL	80%
<b>Total</b>	<b>40 mL</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 04 - Amostra OECC 02.

Composição	mL	%
Óleo essencial de casca de canela	1,2 mL	3%
Óleo de Coco	0,8 mL	2%
Tween 80	8,0 mL	20%
Água destilada	30 mL	75%
<b>Total</b>	<b>40 ml</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autor, 2023.

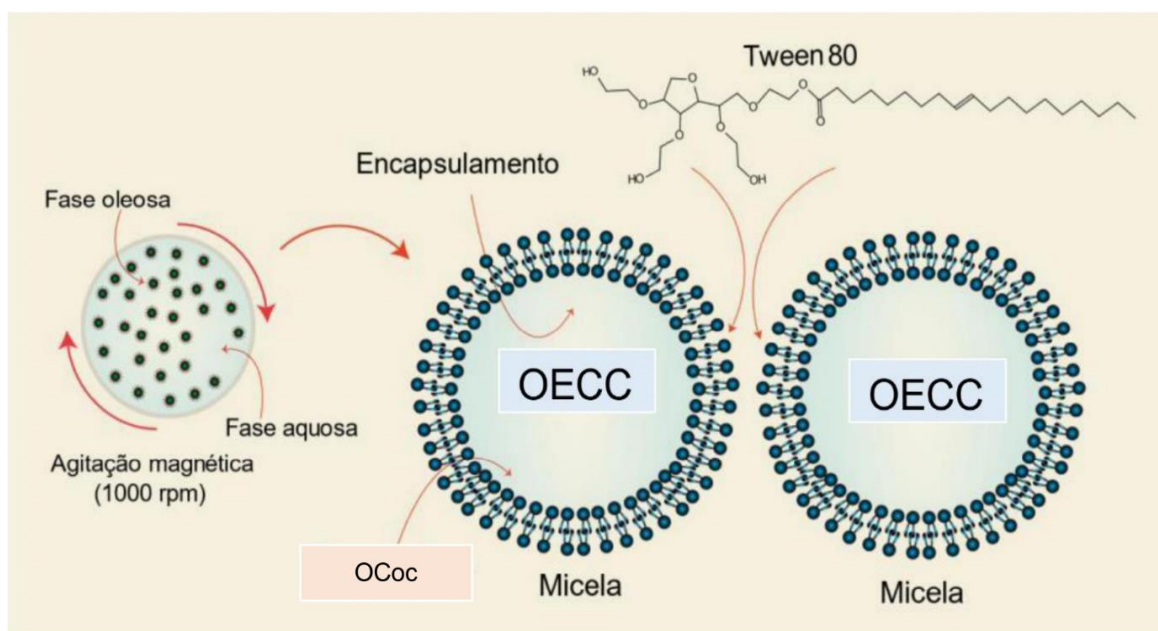
Com o objetivo de elaboração das emulsões, foram conduzidos procedimentos de preparação conforme as Tabelas 01 e 02 para as amostras previamente selecionadas. A primeira etapa consistiu na homogeneização do óleo essencial da casca de canela com o óleo de coco, utilizando um agitador magnético, por um período de 30 minutos.

Em seguida, o óleo essencial homogeneizado é incorporado ao surfactante, conhecido como Tween 80, e submetido a agitação contínua durante 30 minutos, utilizando um agitador magnético. Após esse período, a fase orgânica devidamente homogeneizada é adicionada à solução de água destilada de forma gradual, com uma taxa de 1 mL por minuto, também sob agitação contínua proporcionada pelo agitador magnético.

Após a conclusão da etapa de adição da fase orgânica à água destilada, a solução é submetida a um processo de homogeneização com o objetivo de formar gotículas na faixa de nanômetros. Esse processo é mantido por um período de 30 minutos. Após essa etapa, a emulsão resultante é cuidadosamente armazenada em um recipiente e protegida contra a exposição à luz,

aguardando a realização das análises necessárias. A seguir na Figura 03 é possível de forma ilustrativa analisar o que foi proposto na metodologia.

Figura 04 – Ilustração do sistema emulsionado.



Fonte: Adaptado de Santa Rosa, 2022.

### 3.2.2 – Caracterização das Emulsões

#### Análise visual

A análise visual das amostras foi conduzida em três momentos distintos: imediatamente após a preparação das emulsões ou seja, no tempo zero, após quinze dias e trinta dias de armazenamento. As imagens foram registradas em cada um desses momentos utilizando um dispositivo Motorola E7 Power, modelo Austrália.

#### Medição de turbidez

A turbidez das emulsões foi avaliada por meio da intensidade de transmitância a 600 nm, utilizando um espectrofotômetro SHIMADZU (Modelo U-1800, Tóquio, Japão), com triplicata das medições. Foi registrada a quantidade de luz que atravessou cada amostra, e a porcentagem de transmitância (trans%) foi então capturada e processada por meio de um software (UV-probe 2.43). Como controle, utilizou-se água destilada como referência (branco), para as análises realizadas nos períodos de zero, quinze e trinta dias.

#### Leituras de absorvância (Abs)

Os espectros de Abs foram coletados através da varredura para uma faixa de 400 a 700 nm usando um espectrofotômetro SHIMADZU (Modelo U-1800, Tóquio, Japão). As intensidades de Abs que varreram as amostras foram detectadas nos tempos zero, quinze e trinta dias, e decodificada por um software (UV-probe 2.43) integrado ao aparelho. As leituras foram feitas em

uma cubeta de quartzo à temperatura ambiente ( $25\pm 2^\circ\text{C}$ ), utilizando água como branco.

### **Medição de Potencial hidrogeniônico (pH)**

O pH das NEs foi avaliado em triplicata através de medições de um PHmetro - Modelo (TOA ION meter IM-40s, Japão) submergindo o bulbo do aparelho em cada fluido, respeitando os respectivos tempos de armazenamento (zero, quinze e trinta dias). O medidor de pH foi calibrado com uma solução tampão de pH 7,0 e 4,0 antes de cada medição.

### **Medições reológicas: Viscosidade dinâmica**

Para a determinação da viscosidade dinâmica utilizou-se um Viscosímetro rotacional HAAKE Viscotester, Modelo (VT 550). Foi utilizado a configuração cilindros coaxiais copo SV e cilindros SV1. As amostras foram inseridas a uma temperatura constante de  $27^\circ\text{C}$  a uma taxa de cisalhamento entre 0 a  $600\text{s}^{-1}$  em tempos de 180 s. A análise e os resultados foram programados e obtidos, respectivamente, utilizando o software computacional do equipamento (Thermo Scientific™ HAAKE™ RheoWin™ Measuring and Evaluation Software).

As emulsões foram sintetizadas nos laboratórios de Química e Polímeros da Universidade Federal do Pará (UFPA). O Laboratório de Química está localizado no campus de Ananindeua, enquanto o Laboratório de Polímeros está no PRODERNA, campus de Belém da UFPA, com vinculação ao campus de Ananindeua. As análises de pH foram conduzidas no Laboratório de Química, enquanto as análises de transmitância, absorbância e viscosidade foram realizadas nos laboratórios de Engenharia Química no campus do Guamá, com destaque para os laboratórios de reologia.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise visual

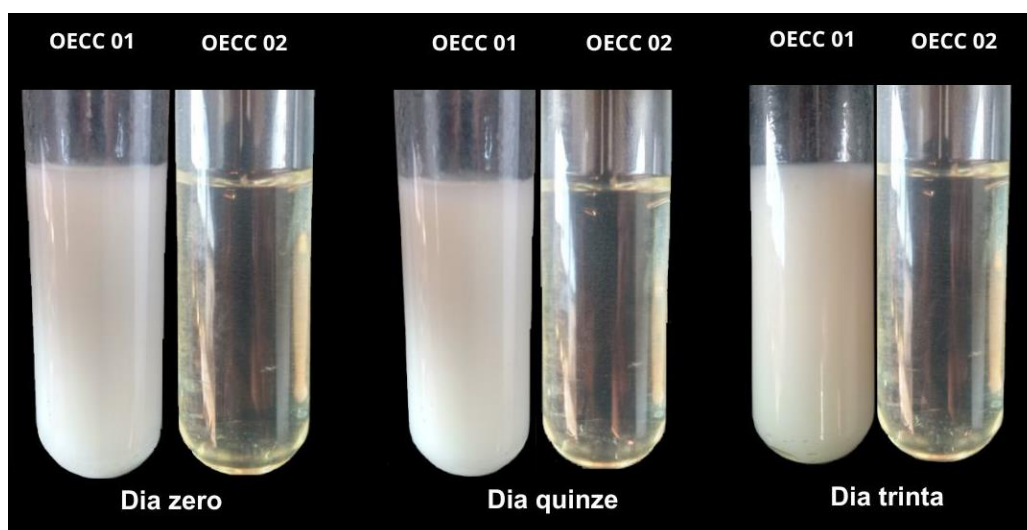
A Figura 05 elucida o aspecto visual para as amostras nos respectivos tempos: após a emulsificação (dia zero), decorrido quinze dias e após trinta dias de armazenamento. Após a obtenção, as emulsões OECC 01 e OECC 02 exibiram um caráter homogêneo em ambas, mas opaco para a amostra OECC 01, já a amostra OECC 02 se demonstrou transparente desde o primeiro momento após a emulsificação.

Após a emulsificação, a emulsão OECC 02 mostrou-se altamente estável até 30 dias, ou seja, não foi observada separação de fase ou formação de creme, o que pode ser um indicativo de que não houve alteração no diâmetro médio das gotas.

De forma contrária aos resultados anteriores, a amostra OECC 01 apresentou coloração branca leitosa desde o primeiro momento da emulsificação, mantendo a coloração no decorrer dos quinze dias e demonstrando separação de fase completa após trinta dias de armazenamento, onde surgiram gotas de óleo essencial separadas ao fundo da emulsão, como demonstrada na Figura 06.

De acordo com a literatura há uma relação da coloração da emulsão e o tamanho de partícula contida na mesma. Quanto menor o tamanho das gotículas a emulsão tende a ser transparente (LYRA *et al*, 2019), (KUMAR *et al*, 2022) e (MEHMOOD e AHMED, 2020).

Figura 05 – Análise Visual das amostras OECC 01 E OECC 02.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 06 – OECC 01, após trinta dias.

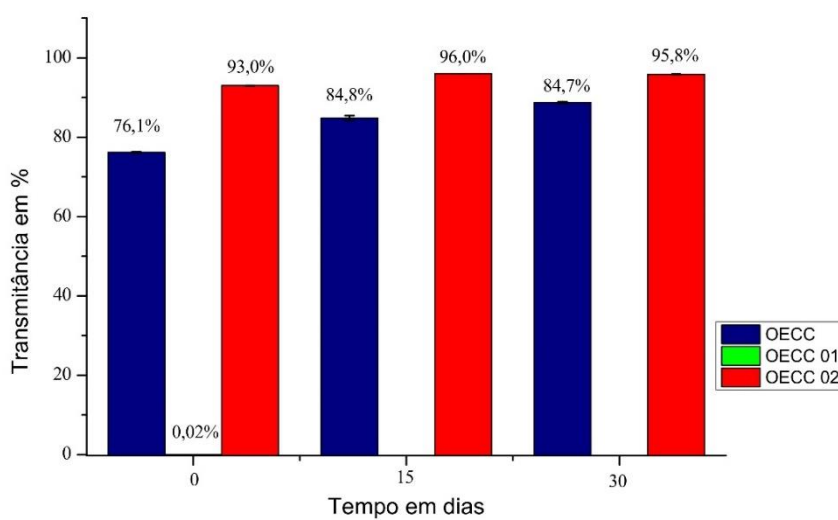


Fonte: Autor, 2023.

## 4.2 Medição de Turbidez

A turbidez foi quantificada e representada em termos de percentual de transmitância a 600 nm para todas as amostras analisadas no intervalo de zero, quinze e trinta dias, conforme ilustrado no Figura 07 e na Tabela 05, onde as barras são divididas de acordo com o decorrer dos dias em padronização com as amostras, estipuladas como OECC, OECC 01 e OECC 02.

Figura 07: Medição de turbidez a 600 nm nos tempos de armazenamento em 0, 15 e 30 dias.



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 05 – Medição de turbidez a 600 nm nos tempos de armazenamento em 0,15 e 30 dias.

	Trans%		Trans%		Trans%	
	Dia zero	$\sigma$ Dia zero	Dia quinze	$\sigma$ Dia quinze	Dia trinta	$\sigma$ Dia trinta
OECC	76,16	0,094281	84,80	0,489898	88,7	0,163299
OECC 01	0,02	0,026667	0,0	0,00	0,0	0,00
OECC 02	93	0,163299	96	0,08165	95,8	0,169967

Fonte: Autor, 2023.

A análise de turbidez em emulsões fornece informações cruciais sobre a estabilidade do sistema coloidal ao longo do tempo. Flutuações significativas na turbidez podem indicar agregação, coalescência ou separação de fases das partículas, como presente na literatura nos estudos de SAAVEDRA, 2018 e PORTO, 2015. Como o foco é otimizar eficiência, homogeneidade e estabilidade do processo, resultados como os obtidos com a amostra OECC 02 nos permitem monitorar a eficácia dos processos de formulação ou comparar diferentes formulações em termos de estabilidade, como visto na comparação com a amostra OECC 01.

Como claramente indicado na Figura 07, observa-se que a leitura realizada a 600 nm, a amostra OECC 01 apresentou uma transmitância inicial baixa no dia zero, e ao longo dos dias quinze e trinta, essa transmitância zerou. Isso sinaliza que a amostra não conseguiu alcançar estabilidade, ao contrário da amostra OECC 02, que exibiu resultado de estabilidade bastante consistente, com variações mínimas, como esperado para testes de turbidez, de acordo com os trabalhos em literatura existentes.

Essa observação está alinhada com as pesquisas documentadas por LIU *et al.* (2021) e LIEW *et al.* (2020). Nesses estudos, ficou claro que a turbidez é uma característica que está predominantemente vinculada à composição do óleo e ao tamanho médio das partículas.

Os valores correspondentes de transmitância foram de 93% no dia zero, 96% no dia quinze e 95,8% no dia trinta para a amostra OECC 02. Comparando esses valores com os da amostra de óleo essencial de casca de canela (OECC), é evidente que a OECC 02 conseguiu manter até mesmo uma maior estabilidade, o que sugere que a emulsão manteve os padrões dos seus componentes. Sendo essa uma informação promissora para investigações futuras.

A turbidez em emulsões pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo o tamanho das partículas dispersas, como foi notado na amostra OECC 01, que exibiu maior tamanho de partículas. Além disso, a concentração de ingredientes ativos, a presença de emulsificantes, a estabilidade coloidal e as interações entre as partículas desempenham papéis essenciais.

Quando as partículas são pequenas e uniformemente dispersas, como evidenciado pelo caso da amostra OECC 02, a emulsão tende a ser mais translúcida. Por outro lado, concentrações maiores de partículas ou aglomeração podem resultar em maior opacidade e, conseqüentemente,

maior turbidez.

A estabilidade da emulsão ao longo do armazenamento é influenciada por fatores como o tipo de emulsificante utilizado, sua composição e a distribuição do tamanho das partículas (MEHRAN *et al.*, 2023).

Como exemplo, a seleção de um surfactante iônico pode resultar em uma carga elétrica que contribui para a estabilidade, enquanto um surfactante não iônico pode criar uma barreira estérica devido ao seu amplo grupo molecular, também promovendo a estabilidade (DELMAS *et al.*, 2011).

Pode-se inferir que essa propriedade tende a aumentar de maneira proporcional ao crescimento do diâmetro médio das partículas. À medida que o raio das gotículas se aproxima da marca de 100 nm, as emulsões exibem uma aparência turva, enquanto acima desse limiar, na faixa de submícrons, elas se manifestam de forma branca devido ao espalhamento significativo da luz (MASON *et al.*, 2006).

A amostra OECC 02 demonstra uma notável estabilidade frente à floculação, coalescência e sedimentação, graças às dimensões diminutas das gotículas que a constituem, devido sua constituição. Essa estabilidade é especialmente marcante em gotículas menores, que exibem uma adesão reduzida à floculação, como confirmado em literatura no escrito de (MEHRAN *et al.*, 2023).

A maioria das variações no tamanho das gotículas e na turbidez manifestou-se nos primeiros quinze dias de armazenamento. Conforme discutido anteriormente, essas mudanças podem ser atribuídas ao fenômeno conhecido como amadurecimento de Ostwald, uma vez que essa transformação é mais proeminente durante o estágio inicial de conservação. (LI *et al.*, 2012).

Contudo, é possível mitigar a taxa de crescimento das gotículas por meio de estratégias como a redução da presença de lipídios polares e a utilização de óleos de elevado peso molecular (WOOSTER *et al.*, 2008; CHANG *et al.*, 2012).

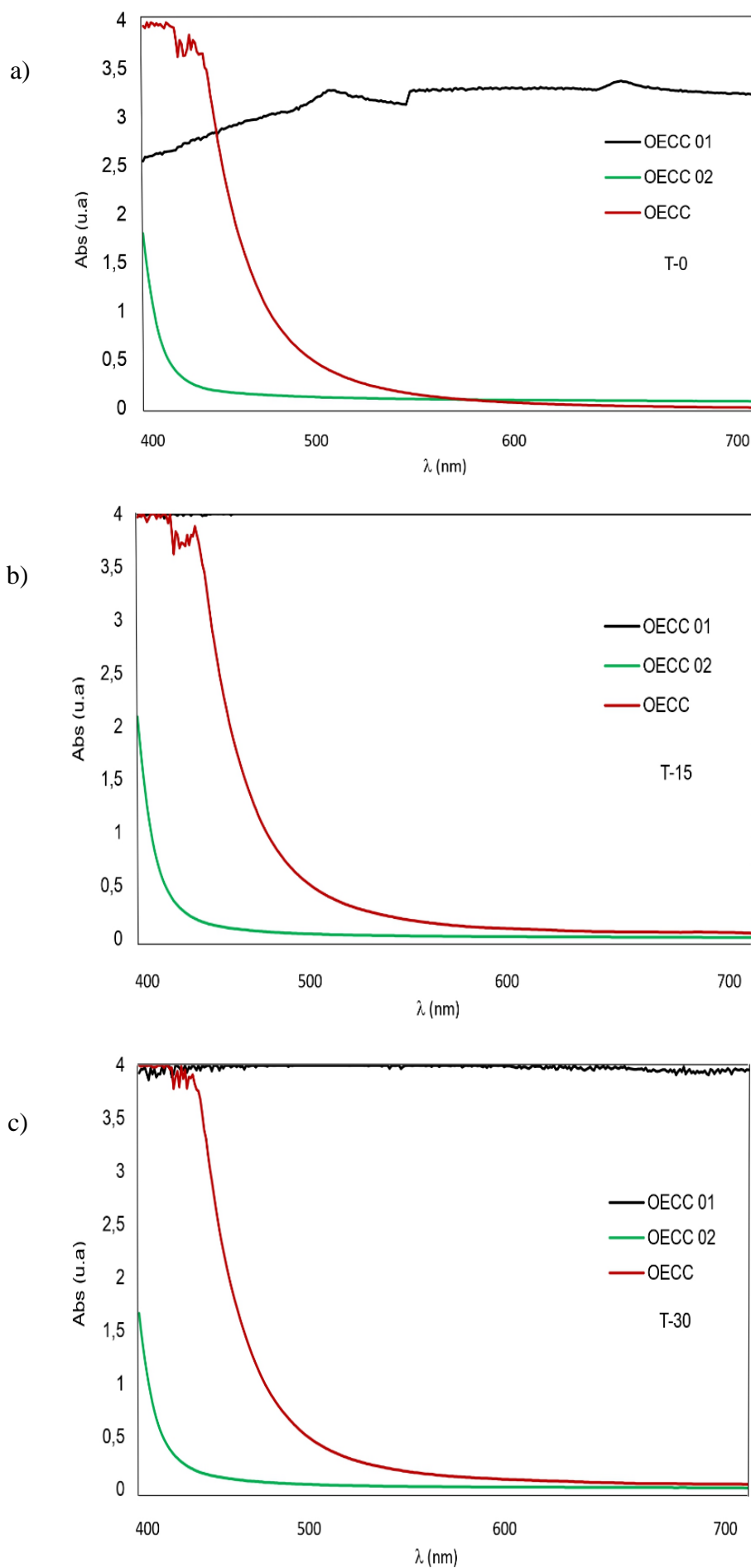
### **4.3 Leitura de Absorbância (abs)**

A absorbância em emulsões refere-se à capacidade de absorver luz em uma faixa específica de comprimento de onda. Neste estudo, investigou-se a absorbância na faixa de comprimento de onda de 600 nm, abrangendo o intervalo entre 400 nm e 700 nm.

Por meio dessa análise, foi possível observar o comportamento das amostras, identificando uma instabilidade significativa na amostra OECC 01. Essa instabilidade se manifestou por variações abruptas na absorbância, algumas das quais estavam além da capacidade de leitura do equipamento, que tem um limite de até 4 unidades.

De acordo com os dados coletados, foi possível analisar a variação das emulsões no decorrer dos dias zero, quinze e trinta às amostras OECC 01, OECC 02 e OECC. Sendo possível analisar na Figura 08.

Figura 08 - Espectros de absorvância para as emulsões nos tempos de 0, 15 e 30 dias, sendo identificados na Figura respectivamente como a,b e c.



Ao ser analisado o desempenho da emulsão OECC 02, foi constatado que seu comportamento estava em conformidade com as expectativas apresentadas na literatura (MELO et al., 2020). Durante um período de zero, quinze e trinta dias, a OECC 02 exibiu uma notável estabilidade em relação à absorvância, o que sugere um potencial promissor para futuras pesquisas relacionadas a aplicações na escala nanométrica.

Considerando que as nanoemulsões são emulsões caracterizadas por conter gotículas com dimensões extremamente reduzidas, situando-se na faixa de tamanho nanométrico, elas se revelam uma escolha ideal para contextos onde a estabilidade e a habilidade de transportar substâncias ativas desempenham um papel crucial.

Ao comparar as três amostras submetidas à análise, foi observado que a amostra OECC, representando apenas o óleo essencial da casca da canela, exibiu uma variação ainda mais pronunciada do que a amostra OECC 02. Tal observação sugere uma perspectiva positiva em relação à estabilidade a longo prazo da amostra OECC 02, um resultado favorável para o contexto da emulsão. Sugere-se a manutenção das ligações, das influências e, sobretudo, do tamanho das gotículas ao longo do tempo, alinhando-se com as pesquisas divulgadas por (BRITO et al., 2022), (BORRIN, 2015), (BENITES et al., 2023) e (MELO et al., 2020).

A absorvância em emulsões pode ser afetada por diversos fatores, incluindo o tamanho das gotículas na emulsão, caso esse evidenciado na amostra OECC 01, que apresentou uma concentração maior do que a amostra OECC 02, o que possivelmente resultou em um tamanho de gotículas maior. Essa condição pode ter contribuído para a falta de estabilidade observada na amostra OECC 01 durante o período de dias analisado.

A avaliação da absorvância em emulsões apresenta utilidade em diversas aplicações, abrangendo formulações farmacêuticas, produtos cosméticos, alimentos e outras áreas nas quais a estabilidade e a eficácia na entrega de substâncias ativas são cruciais. Através da análise da absorvância, tornou-se viável monitorar a qualidade e a eficiência das emulsões, assegurando que elas satisfaçam os requisitos específicos de cada aplicação futura, como demonstrado no caso da OECC 02.

Entre os diversos fatores que podem impactar nas alterações das propriedades das emulsões, é notável que emulsões que incluem óleos ou lipídios podem ser suscetíveis à oxidação. Esse processo pode resultar em modificações na sua composição química, com reflexo direto na absorvância.

Da mesma forma, devido à sua natureza como uma dispersão de gotículas nanométricas de óleo ou lipídios em uma fase aquosa, a estabilidade dessas gotículas ao longo do tempo é de suma importância. Se as gotículas se fundirem ou se separarem, isso pode impactar diretamente a absorvância da emulsão, segundo estudos de (SILVA, 2014), e como ficou evidenciado no caso da amostra OECC 01, na qual observa-se variações abruptas nos resultados das análises de absorvância.

Com o propósito de manter uma absorvância constante ao longo de um período prolongado, é essencial que a formulação da emulsão seja cuidadosamente planejada e que o armazenamento seja realizado de maneira a preservar suas propriedades físicas, as quais são fundamentais para a análise ao longo do intervalo de tempo em questão, como são ressaltados de forma conceitual nos estudos publicados por (SILVA, 1999 e JOANITTI, 2022).

A degradação ou a alteração química dos componentes absorventes podem resultar em variações na absorvância. Dentre os fatores que contribuem para essa degradação, destacam-se a temperatura, a exposição à luz, a umidade e outras condições de armazenamento, que podem impactar diretamente a estabilidade da emulsão e, por conseguinte, sua absorvância (GUPTA, 2016 e GUPTA, 2019).

#### 4.4 Medição de Potencial Hidrogeniônico (pH)

O nível de pH de uma emulsão é uma característica de significativa importância, capaz de impactar diversos atributos do sistema em questão, abrangendo a sua estabilidade, eficácia e a sua compatibilidade com o ambiente circundante ou com a aplicação específica pretendida. A emulsão constitui-se como uma composição resultante da mistura de duas fases não miscíveis, normalmente água e óleo, estabilizadas por um agente emulsificante, desse modo o pH exerce sua principal influência na carga superficial das moléculas do emulsificante e nas partículas presentes na emulsão, como abordado na Figura 09 e Tabela 06.

Figura 09 – Medição de pH no intervalo de 0, 15 e 30 dias.

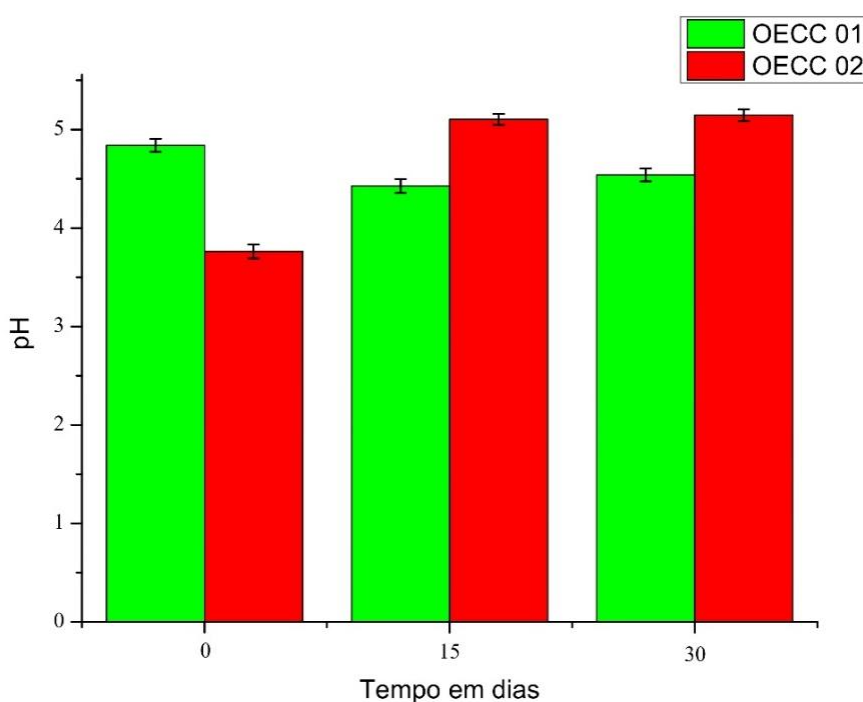


Tabela 06 – Medição de pH: OECC 01 e OECC 02 com seus respectivos desvios padrões.

	pH – Dia zero	$\sigma$ Dia zero	pH – Dia quinze	$\sigma$ Dia quinze	pH – Dia trinta	$\sigma$ Dia trinta
OECC 01	4,84	0,012472	4,42	0,016997	4,54	0,012472
OECC 02	3,866	0,057927	5,1	0,044969	5,16	0,049889

Fonte: Autor, 2023.

As emulsões que incorporaram o óleo essencial de casca de canela (*Cinnamomum cassia*) foram submetidas a um estudo de estabilidade, durante o qual o pH variou para a amostra OECC 01: 4,84; 4,42 e 4,54 nos dias zero, quinze e trinta, respectivamente. Por sua vez, a amostra OECC 02 apresentou variações de pH de: 3,866; 5,1 e 5,16 nos mesmos períodos. O objetivo deste estudo era examinar o impacto da flutuação do pH sobre a integridade físico-química das emulsões, bem como suas características visuais em termos de homogeneidade e propriedades reológicas ao longo do tempo.

O pH exerce a capacidade de influenciar significativamente a estabilidade da emulsão. Os estudos de Onaizi, 2020, nos informam que determinados intervalos de pH pode facilitar a repulsão eletrostática entre as partículas, impedindo a coalescência das gotículas de óleo e água. Frequentemente, um pH próximo da neutralidade é favorecido para assegurar a estabilidade (ONAIZI 2020).

Esta observação encontra consonância com os resultados apresentados no presente estudo, sendo possível sua explicação através da adsorção de cargas catiônicas ou aniônicas provenientes de ácidos ou bases presentes no meio, ocorrendo na interface entre as nanogotículas e o meio aquoso (BHATTACHARJEE 2016).

Uma das características preeminentes das emulsões é a sua estabilidade cinética, que confere resistência às nanogotículas submetidas a condições de estresse, como a diluição (Gupta, 2016, Pathak *et al*, 2018). Dessa forma, a emulsão OECC 02 apresenta-se como uma candidata promissora para diversas aplicações futuras, especialmente quando comparada com a literatura existente (Ganta *et al*, 2016, Pathak *et al*, 2018, Chime *et al*, 2014). A comparação com a OECC 01 evidencia o aspecto também estabilizado de pH, demonstrando padrões que eram desejados.

Frente ao desafio apresentado pela diluição, as nanogotículas presentes na OECC 02 mantiveram uma notável consistência em seu tamanho durante todo o período de avaliação. Isso reforça a ideia de que essa formulação atende às expectativas comuns de estabilidade em emulsões. Como resultado, a OECC 02 pode ser categorizada como uma emulsão estável.

Uma vez que a variação do pH pode influenciar as cargas elétricas das partículas, impactando na repulsão eletrostática entre elas, é notável que ambas as amostras tenham demonstrado estabilidade ao longo dos trinta dias. Isso sugere que as propriedades coloidais da emulsão, possivelmente, foram mantidas.

A amostra OECC 02, com pH estabilizado em torno de 5, sugere perspectivas favoráveis para aplicações na indústria farmacêutica, cosmética e biomédica, dada sua proximidade ao pH da pele humana.

Vale ressaltar que o pH pode influenciar a eficácia de componentes específicos presentes na emulsão, como ingredientes ativos ou conservantes, que frequentemente performam otimamente dentro de determinado intervalo de pH. Assim, a manutenção controlada da estabilidade do pH assume uma importância vital para otimizar a atividade desses elementos.

De acordo com a ênfase no composto orgânico deste estudo, é fundamental destacar a necessidade imperativa de um controle preciso, visando preservar a estabilidade das moléculas orgânicas durante todo o processo. O objetivo primordial consiste em manter inalteradas, na medida do possível, as moléculas responsáveis pelas características sensoriais e pelas aplicações antibacterianas que constituem o cerne deste estudo.

#### **4.5 Medições Reológicas: Viscosidade Dinâmica**

No dia zero, à medida que a tensão de cisalhamento avançava de 100 para 600s<sup>-1</sup>, revelou leve crescimento de viscosidade para as amostras OECC 01 e na OECC 02 uma tendência a intervalos de constância para a viscosidade, conforme o avanço da taxa cisalhamento percorreu de 100 para 600s<sup>-1</sup>, localizados em intervalos extremos de valores expressos em 0,03 a 0,06 Pa.s<sup>-1</sup> e 0,10 a 0,12 Pa.s<sup>-1</sup>, respectivamente.

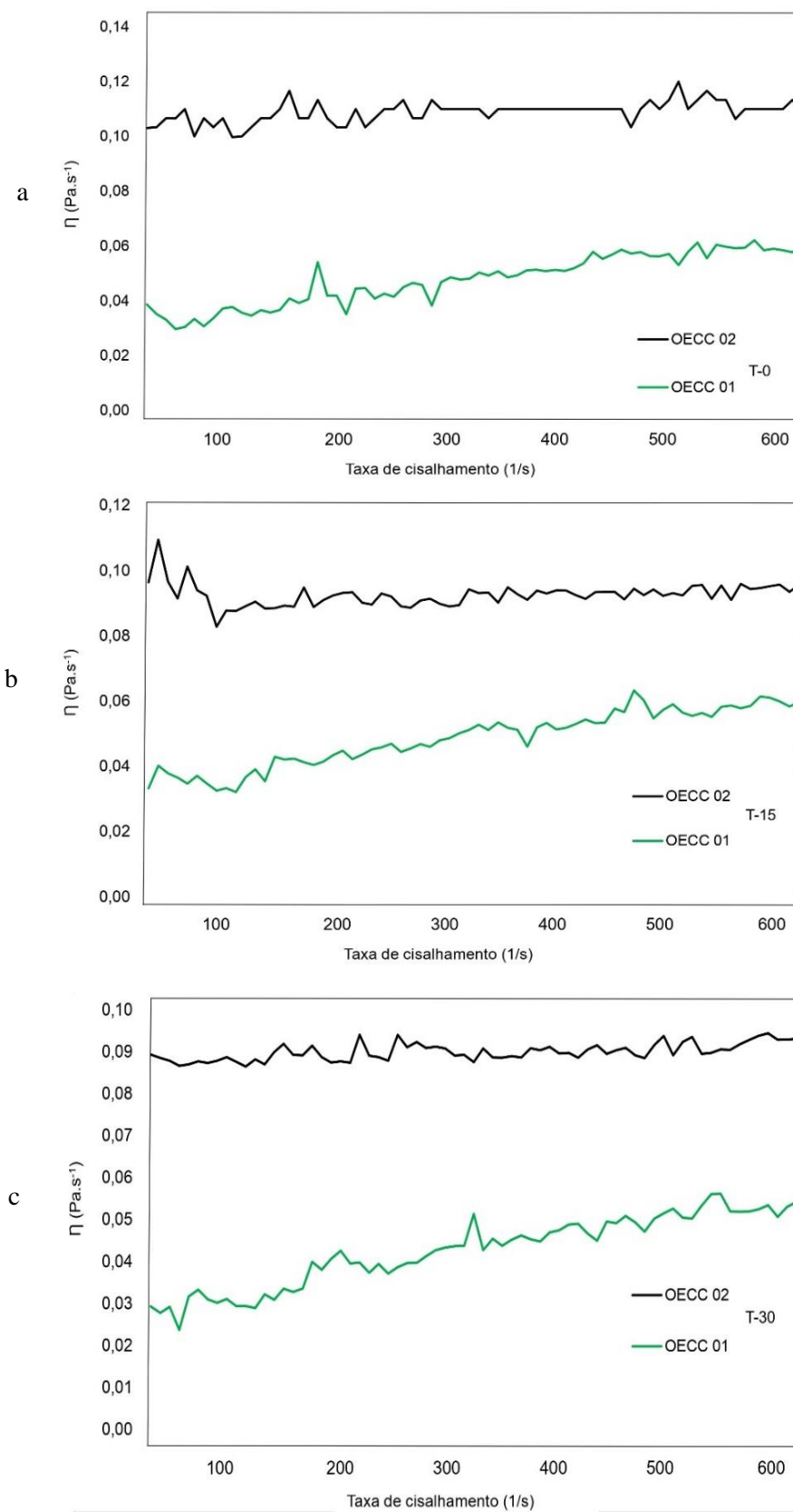
Os valores demonstrados para a amostra OECC 01 e OECC 02 no tempo quinze dias oscilaram minimamente a partir da extremidade inferior para a superior da taxa cisalhante (100 para 600s<sup>-1</sup>) alcançando valores extremos de 0,03 a 0,06 Pa.s<sup>-1</sup> e 0,09 e 0,11 Pa.s<sup>-1</sup>, respectivamente.

Para o dia trinta a amostra OECC 01, sendo mantida a mesma condição, experimentou um parâmetro de constância, quando comparado aos dias anteriores, observada entre 0,03 a 0,05 Pa.s<sup>-1</sup>. Para a amostra OECC 02, a viscosidade relativamente invariável, quase que constante, com oscilações mínimas localizadas nas extremidades 0,089 a 0,096 Pa.s<sup>-1</sup>, à medida que avançou de 100 para 600s<sup>-1</sup>.

Como é possível notar no Figura 10, a relação de taxa de cisalhamento aumenta no decorrer dos 600 segundos em que a mesma é submetida a tensão, e ao comparar as duas amostras é possível confirmar que a amostra OECC 02, que tem carga de óleo essencial menor, possui maior valor referente a viscosidade, segundo os estudos de BORRIN, 2015 e FARIAS, 2022, isso se dá pelo fato de que quanto maior a quantidade de Tween 80, surfactante, o mesmo exerce influência sobre a viscosidade da emulsão, dado esse comprovado via análise de viscosidade.

De forma geral, testes de viscosidade verificam o comportamento da emulsão na presença de Tween 80 na emulsão juntamente com a estabilização das gotículas formadas e sua estabilidade no decorrer dos dias em análise. É possível constatar a relação dos dias zero, quinze e trinta, sendo respectivamente a, b e c na Figura 10, a seguir.

Figura 10 - Amostras OECC 01 e OECC 02 no decorrer de zero, quinze e trinta dias em relação de viscosidade e taxa de cisalhamento:



Fonte: Autor, 2023.

Logo a OECC 01, que possui carga de óleo essencial maior, e menor quantidade de Tween 80, demonstrou um comportamento referente a viscosidade menor, mas mantendo o mesmo padrão que a amostra OECC 02 demonstrou, dessa forma respaldando até mesmo uma uniformidade das emulsões produzidas no decorrer dos trinta dias de observação no quesito viscosidade.

Um aspecto crucial a ser destacado, é que as nanogotículas permaneceram com uma variação baixa ao longo dos trinta dias. Dessa forma, as perspectivas são promissoras para estudos futuros, uma vez que demonstraram consistência nos padrões ao longo do tempo.

Sistemas emulsionados, devido à sua baixa viscosidade e relativa transparência, são agradáveis tanto esteticamente quanto sensorialmente. No caso das emulsões O/A, ainda apresentam a vantagem de não deixarem a pele pegajosa após sua aplicação. (CARVALHO, 2015) Fatores que contribuem para uma boa aceitação de produtos desenvolvidos com emulsões (TADROS et al., 2004; ROCHA-FILHO 2014).

Por tanto, o sistema fornece a condição de que para cargas oleosas mais baixas, a viscosidade tende à uma estabilidade mais significativa. O que está de acordo com o que foi demonstrado nos estudos de reologia de NEs do tipo óleo em água reportado recentemente (AL-SAKKAF & ONAIZI, 2022).

## 5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, constatou-se a obtenção de forma das emulsões do óleo essencial da casca da canela através do método da emulsificação espontânea.

A análise visual não verificou mudança significativa no aspecto visual da emulsão OECC 02, nos tempos zero, quinze e trinta dias, fato esse contrário no que tange a amostra OECC 01, tendo em vista que a mesma teve divisão de fases.

As leituras de transmitância, revelaram uma boa estabilidade da NE OECC 02 nos três tempos avaliados com um índice reduzido de turbidez no armazenamento. Comportamento esse não verificado na OECC 01, a mesma não demonstrou estabilidade na análise de turbidez.

O mesmo comportamento de estabilidade foi observado para os espectros de Absorbância referente a região de 400 a 700 nm, demonstrando a amostra OECC 02 como estável nos resultados e a amostra OECC 01 como não estabilizada no decorrer dos trinta dias de observação.

As avaliações de pH e viscosidade revelaram variações mínimas ao longo do tempo, indicando a estabilidade das Nanoemulsões (NEs) durante o período de análise.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em perspectivas futuras, a referente pesquisa pretende:

- Analisar o comportamento da emulsão OECC 02 no período de 60 dias.
- Caracterizar as NEs através das técnicas experimentais: potencial zeta, Índice de polidispersividade, microscopia eletrônica de transmissão (MET) e espalhamento dinâmico da luz;
- Verificar a ação antimicrobiana in vitro da emulsão OECC 02.
- Verificar a possibilidade de inserção da emulsão em blenda polimérica, para efetivação das propriedades antimicrobiana com a finalidade de biomateriais ou embalagens para a indústria alimentícia.

## 7. REFERÊNCIAS

A. GUPTA, H.B. Eral, T.A. Hatton, P.S. Doyle, **Nanoemulsions: formation, properties and applications**, *Soft Matter* 12 (2016) 2826–2841, <https://doi.org/10.1039/c5sm02958a>

AGUIAR, U. N. et al. **Preparação e Caracterização do Complexo de Inclusão do Óleo Essencial de Croton zehntneri com B-Ciclodextrina**. *Quim. Nova, Teresina*, v. 37, n. 1, p. 50-55, 2014.

ALMASI, L. R. AMIRI, M. MCCLEMENTS, S. JULIAN, D. **Fabrication and characterization of antimicrobial biopolymer films containing essential oil-loaded microemulsions or nanoemulsions**. *Food Hydrocolloids*, [s. l.], v. 117, n. March, p. 106733, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106733>.

ALMEIDA, A., DE ARMAS, R. D., MACHADO, M. H., DA ROSA, C. G., NUNES, M. R., BERTOLDI, F. C., & BARRETO, P. L. M. **Antibacterial activity, morphology, and physicochemical stability of biosynthesized silver nanoparticles using thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil**. *Materials Research Express*, 7(1), 2020. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6c63>.

ALMEIDA, J. C.; ALMEIDA, P. P.; GHERARDI, S. R.M. **Potencial antimicrobiano de óleos essenciais: uma revisão de literatura de 2005 a 2018**. *Nutritime Revista Eletrônica, Viçosa*, v. 17, n. 1, p. 8623-8633, 2020.

AL-SAKKAF, M. K., & ONAIZI, S. A. **Rheology, characteristics, stability, and pH-responsiveness of biosurfactant-stabilized crude oil/water nanoemulsions**. *Fuel*, 307 (August 2021), 121845, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121845>.

ASWATHANARAYAN, j. B.; vittal, r. R. **Nanoemulsions and their potential applications in food industry**. *Frontiers in sustainable food systems*, 2019. V. 3, p. 1–21. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00095>.

AVDEEV, Yaroslav G.; KUZNETSOV, Yurii I.; BURYAK, Aleksey K.. **Inhibition of steel corrosion by unsaturated aldehydes in solutions of mineral acids**. *Corrosion Science*, v. 69, p. 50-60, 2013.

BALTI, M. A.; HADRICH, B.; KRIAA, K. **Lab-scale extraction of essential oils from Tunisian**

**lemongrass (Cymbopogon flexuosus).** Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, [s. l.], v. 124, p. 164–173, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2017.12.012>.

BAKKALI, F. *et al.* **Biological effects of essential oils.** Food and Chemical Toxicology, Oxford, v. 46, n. 2, p. 446-475, Feb. 2008.

BANERJEE, P., SYED, I. & SARKAR, P. **Oil-in-water emulsions of geraniol and carvacrol improve the antibacterial activity of these compounds on raw goat meat surface during extended storage at 4 °C.** Food Control, 107, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106757>.

BANG, K.H.; LEE, D.W.; PARK, H.M.; RHEE, Y.H. **Inhibition of fungal cell wall synthesizing enzymes by trans-cinnamaldehyde.** Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, v.64, p.1061-1063, 2000.

BAŞER, K. H. C.; BUCHBAUER, G. (org.). **Handbook of Essential Oils - Science, Technology and Applications.** 3. ed. [S. l.]: CRC Press - Taylor & Francis Group, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1201/9781351246460>.

BATISTI, D. L. S.; CAMARGO, R. B.; SOUZA, V. K. G.; PATTARO JÚNIOR, J. R.; GONÇALVES, J. E.; MORITZ, C. M. F. **Evaluation of the antiseptic effect of nanoemulsion with cinnamon essential oil on Streptococcus mutans.** Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 4, p. e33211426314, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i4.26314. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26314>. Acesso em: 12 sep. 2023.

BENITE. L. A, IMBRIANI, M. J. M. POLIDORIO, D. M. P., MAQUERA-HUACHO, P. M; **Efeito promissor bioativo de uma nova nanoemulsão contendo hesperitina sobre o metabolismo ósseo: estudo in vitro,** Rev. odontol. UNESP, vol.51, nEspecial, p.0, 2022.

BENITES B. R., SILVA M. D., PEREIRA S. F. & BATISTA, T. **ESTUDO CINÉTICO DA FOTÓLISE DIRETA DE CORANTES ALIMENTÍCIOS E TÊXTEIS EM FOTOREATOR DE FLUXO.** RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218, 2023, e432928. <https://doi.org/10.47820/recima21.v4i3.2928>

BEVILACQUA, T. **Avaliação da atividade biológica do óleo essencial de Nectandra nitidula Nees & Mart. para utilização em formulações farmacêuticas.** - Monografia (Graduação em

Farmácia) - Escola de Farmácia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

BHATTACHARJEE, S. **DLS and zeta potential - what they are and what they are not?** J. Contr. Release 235 (2016) 337–351, <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.06.017>.

BORA H, KAMLE M, MAHATO DK, TIWARI P, KUMAR P. **Citrus Essential Oils (CEOs) and Their Applications in Food: An Overview.** Plants (Basel). 2020 Mar 11;9(3):357. doi: 10.3390/plants9030357. PMID: 32168877; PMCID: PMC7154898.

BORRIN, T. R.; **Nanoemulsões produzidas pelo método do ponto de inversão da emulsão (EIP) para encapsulação de curcumina: parâmetros de produção, estabilidade físico-química e incorporação em sorvete.** 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais voltados à Agroindústria) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015. doi:10.11606/D.74.2015.tde-17092015-102029. Acesso em: 2023-09-05.

BRANDÃO R.M; CARDOSO M.G; DE OLIVEIRA J.E; BARBOSA R.B; FERREIRA VRF; CAMPOLINA GA; MARTINS MA; NELSON DL; BATISTA LR; **Antifungal and anti-carcinogenic potential of *Alpinia speciosa* and *Cymbopogon flexuosus* essential oils encapsulated in poly (lactic acid) nanofibres against *Aspergillus* fungi.** Letters In Applied Microbiology, v. 75, n.2, p. 281-292, 2022a, <https://doi.org/10.1111/lam.13704>

BRITO, J. E. de .; VIANA, D. dos S. F.; VIANA, V. G. F. **Green synthesis and characterization of AgNp silver nanoparticles stabilized in jurema preta extract (*Mimosa tenuiflora*).** Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 6, p. e21611629051, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.29051. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/29051>. Acesso em: 5 sep. 2023.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods. International Journal of Food Microbiology, Amsterdam, v. 94, n. 3, p. 223-253, Aug. 2004.

CARVALHO, K. V.; **Desenvolvimento e avaliação de nanoemulsões com extrato etanólico bruto das folhas de *Melaleuca leucadendron* e cloridrato de pilocarpina para o uso potencial como radioprotetor tópico.** - Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Escola de Farmácia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

CHANG Y, MCLANDBOROUGH L, MCCLEMENTS DJ. **Physical properties and**

**antimicrobial efficacy of thyme oil nanoemulsions: influence of ripening inhibitors.** J Agric Food Chem. 2012 Dec 5;60(48):12056-63. doi: 10.1021/jf304045a. Epub 2012 Nov 19. PMID: 23140446.

CHIME, S.A., KENECHUKWU, F.C.; ATTAMA, A.A.; **Nanoemulsions — Advances in Formulation, Characterization and Applications in Drug Delivery, Application of Nanotechnology in Drug Delivery**, Ali Demir Sezer, IntechOpen, July 25th 2014, <https://doi.org/10.5772/58673>.

CLAYDEN, J.; GREEVES, N.; WARREN, S. **Organic chemistry**. 2 ed. Oxford: Oxford University Press, 2012. Cap. 16, p. 360-363

COSTA, J. A. **Efeito do extrato bruto da folha e casca do caule da canela (cinnamomum zeylanicum) sobre o perfil bioquímico e aspectos histopatológicos e morfométricos em fígados de ratos obesos**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

CORTÉS-ROJAS, D. F., SOUZA, C. R. F., OLIVEIRA, W.; **Clove (Syzygium aromaticum): a precious spice**, Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, Volume 4, Issue 2, 2014, Pages 90-96, ISSN 2221-1691, [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(14\)60215-X](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(14)60215-X).

CRUZ, T. S., PAIXÃO, J. A. **"Aplicação do óleo essencial de Melaleuca alternifolia (TEA TREE) no tratamento da acne vulgar."** Revista Artigos. Com 29 (2021): e7657-e7657.

CZARRA, F. R. **Spices: A global history** (2009). London: Reaktion.

DA SILVA, R. F.; DA ROCHA, A. C. S. D.; SAMPRÔNIO, M. A. A.; DE CAMARGO, M.; CRESCI, A. R. . **Ação do diclofenaco de sódio e do celecoxibe na cicatrização por segunda intenção de feridas cutâneas de ratos wistar tratados com óleo de girassol**. Revista Brasileira Multidisciplinar, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 168-179, 2021. DOI: 10.25061/2527-2675/ReBraM/2021.v24i2.1072. Disponível em: <https://www.revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/1072>. Acesso em: 4 out. 2023.

DELMAS T, PIRAUX H, COUFFIN AC, TEXIER I, VINET F, POULIN P, CATES ME, BIBETTE J. **How to prepare and stabilize very small nanoemulsions**. Langmuir. 2011 Mar 1;27(5):1683-92. doi: 10.1021/la104221q. Epub 2011 Jan 12. PMID: 21226496.

DURÃO, L. P. L. **Desenvolvimento e avaliação dos mecanismos biológicos de uma nanoemulsão carregada com hesperitina sobre a osteoclastogênese.** Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2023. Available at: <http://hdl.handle.net/11449/243000>.

FARIAS, C. S. **Estudo bibliográfico da termodinâmica de microemulsões cosméticas.** 2022. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2022.

FARIAS, L. K. A. de ., Mota, E. S. L. M., Freitas, L. da S. ., Sousa, G. R., Oliveira, D. D., & Vicente de Miranda, C. **O uso de nanotecnologia na formulação de cosméticos. revista saúde multidisciplinar.** (2023).

FERNANDEZ-PANCHON, M.S.; VILLANO, D.; TRONCOSO, A.M.; GARCIPARRILLA, M.C. **Antioxidant activity of phenolic compounds: From in vitro results to in vivo evidence.** Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v.48, p.649-671, 2008.

FERREIRA, J. P. **Nanoemulsão de óleo de algodão contendo fitol para potencial atividade leishmanicida.** Departamento de Farmácia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

FIGUEIRAS, A. R. R; COIMBRA, A. B; VEIGA, F. J. B. **Nanotecnologia na saúde: aplicações e perspectivas.** Boletim Informativo Geum, v. 5, n. 2, p.14-26, abr./jun. 2014.

GANTA, S., TALEKAR, M. A., SINGH, T.P., COLEMAN, AMIJI, M.M. **Nanoemulsions in translational research - opportunities and challenges in targeted cancer therapy.** AAPS PharmSciTech 15 (2014) 694–708, <https://doi.org/10.1208/s12249-014-0088-9>.

GANTA, S.; SINGH, A.; RAWAL, Y.; CACACCIO, J.; PATEL, N. R.; KULKARNI, P.; FERRIS, C. F.; AMIJI, M. M.; COLEMAN, T. P. **Formulation development of a novel targeted theranostic nanoemulsion of docetaxel to overcome multidrug resistance in ovarian câncer.** Drug Delivery, v. 23, n.3, p. 958-970, 23 mar. 2016.

GOMES, L. K. M.; **Fibras de PBAT com óleo de canela produzidas por fiação por sopro em solução (SBS): caracterização e estudo antimicrobiano.** Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

GUIMARÃES, L. G. L. *et al.* **Influência da luz e da temperatura sobre a oxidação do óleo**

**essencial de capim-limão (Cymbopogon citratus (DC) Stapf).** Química Nova, v. 31, n. 6, p.1476-1480, 2008

GUNAWARDENA, D.; KARUNAWEERA, N.; LEE, S.; KOOY, F. D.; HARMAN, D. G.; RAJU, R.; BENNETT, L.; GYENGESI, E.; SUCHER, N. J.; MÜNCH, G. **Anti-inflammatory activity of cinnamon (C. zeylanicum and C. cassia) extracts – identification of E-cinnamaldehyde and o-methoxy cinnamaldehyde as the most potent bioactive compounds.** Food & Function, v. 6, n. 3, p. 910- 919, 2015.

GUPTA A. **Nanoemulsions.** In: Chung EJ, Leon L, Rinaldi C. **Nanoparticles for Biomedical Applications: Fundamental Concepts, Biological Interactions and Clinical Applications.** Oxford: Elsevier 1. ed. Inc.; 371–384 p, 2019.

GUPTA, A., ERAL, H.B., HATTON, T.A., DOYLE, P.S.; **Nanoemulsions: formation, properties and applications,** Soft Matter 12 (2016) 2826–2841, <https://doi.org/10.1039/c5sm02958a>.

HAJIMONFAREDNEJAD, M. **Insulin resistance improvement by cinnamon powder in polycystic ovary syndrome: A randomized double-blind placebo controlled clinical trial.** Phytotherapy Research, v. 32, n. 2, p. 276-283, 2018.

HARIRI, M.; GHIASVAND, R. **Cinnamon and Chronic Diseases.** Advances in Experimental Medicine and Biology, v. 929, p. 1-24, 2016.

HASAN, M. K. **Nanoemulsion as advanced edible coatings to preserve the quality of fresh-cut fruits and vegetables: a review.** International journal of food science and technology, 2020. V. 55, p. 1–10.

HUNTER, I. W.; KORENBERG, M. J. **The identification of nonlinear biological systems: Wiener and Hammerstein cascade models.** Biological cybernetics, v. 55, n. 2-3, p. 135-144, 1986.

JOANITTI, G. A.; MORAIS, P. C.; AZEVEDO, R. B. **Nanotecnologia: considerações em materiais, saúde e meio ambiente.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2022. 517 p.

KEAY, J. **The Spice Route: A History.** University of California Press, 2006. ISBN: 0-520-24896-1. doi:10.1017/S0007680500037831

KOCH, Denise; LEITZKE, Marta; MONZANI, Rodrigo Martins. **Extração de óleos essenciais por meio de hidrodestilação para controle de fitopatógenos.** In: **MOSTRA NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA INTERDISCIPLINAR**, nº 7, 2014, Araquari. Anais. Araquari: Instituto Federal Catarinense, 2014, p. 1-5.

KUMAR, A.; KANWAR, R.; MEHTA, S. **Development of Phosphatidylcholine/Tween 80 based biocompatible clove oil-in-water nanoemulsion as a green nanocarrier for controlled herbicide delivery.** *Environmental Pollution*, v. 293, p. 118558, jan. 2022.

LAMBERT, R. J. W. et al. A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. *Journal of Applied Microbiology*, Oxford, v. 91, n. 3, p. 453-462, Sept. 2001.

LI, J., LI, Y., SONG B. Y., CHEN A. G., **Improved synthesis of 2,20 -arylmethylene bis(3-hydroxy-5,5-dimethyl-2- cyclohexene-1-one) derivatives catalyzed by urea under ultrasound,** *Ultrasonics Sonochemistry*, 2012, pg 4. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.05.001>

LI, C.; LUO, Y.; ZHANG, W.; CAI, Q.; WU, X.; TAN, Z.; CHEN, R.; CHEN, Z.; WANG, S.; ZHANG, L. **A comparative study on chemical compositions and biological activities of four essential oils: *Cymbopogon citratus* (dc.) Stapf, *Cinnamomum cassia* (l.) Presl, *Salvia japonica* Thunb. and *Rosa rugosa* Thunb.** *Journal Of Ethnopharmacology*, v. 280, p. 114472-114481, 2021.

LI, Y., KONG, D.; WU, H. **Analysis and evaluation of essential oil components of cinnamon barks using GC–MS and FTIR spectroscopy.** *Industrial Crops And Products*, v. 41, p. 269-278, 2013.

LIEW, S. N., UTRA, U., ALIAS, A. K., TAN, T. B., TAN, C. P., & YUSSOF, N. S. **Physical, morphological and antibacterial properties of lime essential oil nanoemulsions prepared via spontaneous emulsification method.** *Lwt*, [s. l.], v. 128, n., 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109388>

LIMA , K. O.; VAZ , G. R.; BORGES , C. D. **Conservação de vegetais minimamente processados utilizando nanoemulsões: Uma revisão.** Seven Editora, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/1427>. Acesso em: 12 sep. 2023.

LIU, X.; CHEN, L.; KANG, Y.; HE, D.; YANG, B.; WU, K. **Cinnamon essential oil nanoemulsions by high-pressure homogenization: Formulation, stability, and antimicrobial activity.** *Lwt.*;147:111660, 2021.

LYRA, L. P. S.; FERNANDES, A.; RICCARDI, C. S.; ANDRADE, B. F. M. T; **DESENVOLVIMENTO DE NANOEMULSÃO DE GERANIOL E ÓLEO ESSENCIAL DA PALMAROSA (*Cymbopogon martinii*) E SUA AÇÃO INIBITÓRIA SOBRE LINHAGENS DE *Cutibacterium acnes*.** Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, instituto de Biociências - Botucatu, 2019.

MACÁRIO, Maíse dos Santos. **Parâmetros inflamatórios, oxidativos e morfometria intestinal de frangos de corte alimentados com óleo essencial de cúrcuma em conforto e estresse térmico.** 2023. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2023.

MAIA, F. M., MACEDO, K. G., RAMOS, A. L., FARIA, F. S. E. D. V., RODRIGUEZ, A. F. R. **Preparação e caracterização de nanoemulsão dos óleos de Euterpe precatória Mart. E *Bertholletia excelsa* Bonp.** *DELOS: DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE*, 2023, 1847–1860. <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n45-024>.

MASYITA, A. et al. **Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives.** *Food Chem.*, v. 13, p. 1-14, 2022.

MASON, T. G. *et al.* **Nanoemulsions: formation, structure, and physical properties.** *Journal of Physics: condensed matter*, v. 18, n. 41, p. R635, 2006.

MATSARIDOU, I. **The influence of surfactant HLB and oil/ surfactant ratio on the formation and properties of self-emulsifying pellets and microemulsion reconstitution.** *AAPS PharmSciTech*, v. 13, n. 4, p.1319-1330, 2012.

MEHMOOD, T.; AHMED, A. **Tween 80 and Soya-Lecithin-Based Food-Grade Nanoemulsions for the Effective Delivery of Vitamin D.** *Langmuir*, v. 36, n. 11, p. 2886–2892, mar. 2020.

MEHRAN, M., MASOUM, S., MEMARZADEH, M. **Enhancing Stability and Antimicrobial Activity of Spearmint Essential Oil Nanoemulsion Through Formulation Optimization by**

**Mixture Experimental Design and in Vitro Drug Release Study.** 2023 Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4386958> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4386958>.

MELO, A. P. Z., DE OLIVEIRA B. M., SGANZERLA, W. G., DA ROSA, A., ARMAS, R. D., MACHADO, M. H., ROSA, C. G., NUNES, M. R., BERTOLDI, F. C., BARRETO, P. L. M. **Antibacterial activity, morphology, and physicochemical stability of biosynthesized silver nanoparticles using thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil.** *Materials Research Express*, 7(1), 2020. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6c63>.

MENDES, J.F.; NORCINOL.B. CORRÊA, T.Q.; BARBOSA, T.V.; PASCHOALIN, R. T.; MATTOSO, L.H.C. **Obtaining poly (lactic acid) nanofibers encapsulated with peppermint essential oil as potential packaging via solution-blow-spinning,** *International Journal of Biological Macromolecules*, V. 230, 2023, p.123424, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123424>.

MINKO, T.; RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, L.; POZHAROV, V.; **Nanotechnology approaches for personalized treatment of multidrug resistant cancers.** *Advanced Drug Delivery Reviews*, v. 65, n. 13-14, p.1880-1895, 2013.

MOGHIMI R, GHADERI L, RAFATI H, ALIAHMADI A, MCCLEMENTS DJ. **Antibacterial activity of nanoemulsion of *Thymus daenensis* essential oil against *E. coli*.** *Food Chem.* 2016 Mar 1;194:410-5. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.07.139. Epub 2015 Jul 31. PMID: 26471573.

MORGADO, C. da S. ., & Leão, K. A. . (2023). **Contribuição da aromaterapia no tratamento da obesidade.** *E-Acadêmica*, 4(2), e3642504. <https://doi.org/10.52076/eacad-v4i2.504>

MUTHAIYAN A, MARTIN EM, NATESAN S, CRANDALL PG, WILKINSON BJ, RICKE SC. **Antimicrobial effect and mode of action of terpeneless cold-pressed Valencia orange essential oil on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*.** *J Appl Microbiol.* 2012 May;112(5):1020-33. doi: 10.1111/j.1365-2672.2012.05270.x. Epub 2012 Mar 20. PMID: 22372962; PMCID: PMC3324624.

NAJAFI-TAHER, R.; GHAEMI, B.; KHARAZI, S., RASOULIKOOHI, S.; AMANI, A. **Promising Antibacterial Effects of Silver Nanoparticle-Loaded Tea Tree Oil Nanoemulsion: a Synergistic Combination Against Resistance Threat.** *AAPS PharmSciTech.*;19(3):1133–40, 2018.

NASCIMENTO, N. H. **Desenvolvimento de uma nanoemulsão à base de óleo de girassol enriquecido com papaína e coenzima Q10**. Departamento de Farmácia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

NASEEMA, A. **A critical review of synthesis procedures, applications and future potential of nanoemulsions**. *Adv Colloid Interface Sci.* v. 287, p. 102318, 2020.

NAZEM, V., SABZALIAN, M. R., SAEIDI, G., & RAHIMMALEK, M. **Essential oil yield and composition and secondary metabolites in self- and open-pollinated populations of mint (*Mentha spp.*)**. *Industrial Crops and Products*, [s. l.], v. 130, n. December, p. 332–340, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.018>.

NEPOMUCENO, N. C. **Antimicrobial activity of PLA/PEG nanofibers containing terpinen-4-ol against *Aggregatibacter actinomycetemcomitans***. *Journal of Applied Polymer Science*, v.135, n. 6, 2018.

OLIVEIRA, L. D. Q. **Influência dos óleos essenciais de *Cinnamomum cassia* e *Cymbopogon flexuosus* sobre a suscetibilidade e fatores de virulência em leveduras do complexo *Cryptococcus neoformans***. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

OMBREDANE, ALICIA S.; “**Nanoemulsion-Based Systems as a Promising Approach for Enhancing the Antitumoral Activity of Pequi Oil (*Caryocar Brasilense* Cambess.) in Breast Cancer Cells.**” *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, vol. 58, 1 Aug. 2020, pp. 101819–101819, <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2020.101819>. Accessed 28 Aug. 2023.

ONAIZI, S.A., ALSULAIMANI, M., AL-SAKKAF, M.K., BAHADI, S.A., MAHMOUD, M., ALSHAMI, A., **Crude Oil/Water Nanoemulsions Stabilized by Biosurfactant: Stability and pH-Switchability**, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.108173>.

PATHAK, K., PATTNAIK, S., SWAIN, K. **Application of nanoemulsions in drug delivery**, *Nanoemulsions*, Elsevier, 2018, pp. 415–433, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811838-2.00013-8>

PATTNI, B. S.; CHUPIN, V. V.; TORCHILIN, V. P. **New Developments in Liposomal Drug Delivery**. *Chemical Reviews*, v.115, n.19, p.10938- 66, 2015.

PIKTEL, Ewelina et al. **Recent insights in nanotechnology-based drugs and formulations designed for effective anti-cancer therapy.** Journal of Nanobiotechnology, v. 14, n. 1, p.39, mai. 2016.

PIRES, P. V. M. **Formulação de Nanoemulsão Contendo o Óleo de Andiroba.** Departamento de Farmácia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

PORTO, A. M. **Avaliação do potencial terapêutico adjuvante da canela em portadores de diabetes mellitus: uma revisão sistemática.** Faculdade de Nutrição Emilia Jesus Ferreiro, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2022.

PORTO, A.; ALMEIDA, I.; VICENTINI, V. **Nanoemulsões formuladas para uso tópico: estudo de síntese e toxicidade.** Revista Fitos, v. 14, n. 4, p. 513–527, dez. 2020.

PORTO, Alice Sperandio. **Desenvolvimento de nanoemulsão O/A a base de óleo de copaíba, incorporadas com nanopartículas magnéticas de Zinco.** 2015. xiii, 100 f., il. Dissertação (Mestrado em Nanociência e Nanobiotecnologia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SAAVEDRA, M. G. **Avaliação da atividade larvicida da nanoemulsão do óleo essencial das raízes de *Philodendron fragrantissimum* (Hook) G.Don (Araceae) contra *Aedes aegypti* (Linnaeus 1762) (Diptera: Culicidae).** 2018. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unifap.br:80/jspui/handle/123456789/117>.

SEKHON, Bhupinder Singh. **Nanotechnology in agri-food production: an overview.** Nanotechnology, Science and Applications, v. 7, p.31-53, 2014.

RANASINGHE, P.; PIGERA, S.; PREMAKUMARA, G.A S.; **Medicinal properties of “true” cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*): A systematic review.** BMC Complementary and Alternative Medicine, v. 13, n. 1, p. 1, 2013.

RAVINDRAN, P.N., NIRMAL-BABU, K., & SHYLAJA, M. **Cinnamon and Cassia: The Genus *Cinnamomum*** (1st ed.). CRC Press. (2003). <https://doi.org/10.1201/9780203590874>

REHMAN, A. , TONG, Q. , JAFARI, S. M. , ASSADPOUR, E. , SHEHZAD, Q. , AADIL, R. M. ASHRAF, W. **Carotenoid-loaded nanocarriers: A comprehensive review.** Advances in Colloid and Interface Science , Article 102048, 2019b.

REHMAN, A.; JAFARI, S.M.; TONG, Q.; RIAZ, T.; ASSADPOUR, E.; AADIL, R. M.; ALI, A. **Drug nanodelivery systems based on natural polysaccharides against different diseases.** *Advances in Colloid and Interface Science*, Article 102251, 2020a.

ROCHA-FILHO, P. A. **Nanoemulsions as a vehicle for drugs and cosmetics.** *JSM Nanotechnology & Nanomedicine*, v. 2, n. 1, 2014.

SAJJADI, S.; ZERFA, M.; BROOKS, B. W. **Phase inversion in p-xylene/water emulsions with the non-ionic surfactant pair sorbitan monolaurate/polyoxyethylene sorbitan monolaurate (Span 20/ Tween 20).** *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 218, n. 1-3, p.241-254, 2003

SANTA ROSA, Diemison Lira. **Influência do tempo de armazenamento nas propriedades físico-químicas de nanoemulsões e nanoflúidos contendo o óleo essencial do cravo-da-índia.** Orientador: Marcos Vinicius da Silva Paula. 2023. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Campus Universitário de Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2022. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/handle/prefix/5593>.

SEKHON, Bhupinder Singh. **Nanotechnology in agri-food production: an overview.** *Nanotechnology, Science and Applications*, v. 7, p.31-53, 2014.

SHARMA, Navneet et al. **Preparation and optimization of nanoemulsions for targeting drug delivery.** *International Journal of Drug Development and Research*, v. 5, n. 4, p.37-48, 2013.

SHARMA, Suresh et al. **Is Cinnamon Efficacious for Glycaemic Control in Type-2 Diabetes Mellitus,** *Journal of Pakistan Medical Association*, v. 70, p. 2065-2069, 2020.

SIKKEMA, J.; DE BONT, J. A. M.; POOLMAN, B. **Interactions of cyclic hydrocarbons with biological membranes.** *The Journal of Biological Chemistry*, Bethesda, v. 269, n. 11, p. 8022-8028, Mar. 1994.

SILVA, F.; BORGES, M. F.; FERREIRA, M. **Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante.** *Química Nova*, v. 22, n. 1, p.94-103, 1999.

SILVA, A. L. S. C. **Efeitos da suplementação com canela (Cinnamomum verum) sobre parâmetros endócrinos-metabólicos em mulheres na pós-menopausa com sobrepeso ou obesidade.** 2018.

SILVA, D.; OLIVERIA, C.; PERES, D.; PEREIRA, M., PEREIRA, N. **Impact of stirring speed, glycerin and sodium chloride concentrations on photoprotective nanoemulsions.** Journal Biomedical and Biopharmaceutical Research (BBR). 2014.

SIVAMARUTHI, B. S.; KESIKA, P.; CHAIYASUT, C. **The composition, pharmacological and economic importance of essential oil of Litsea Cubeba (Lour.) Pers.** Food Sci. Technol., Campinas, ed. 42, p. 1-7, 2022.

SONG, R.; LIN, Y.; LI, Z. **Ultrasonic-assisted preparation of eucalyptus oil nanoemulsion: Process optimization, in vitro digestive stability, and anti-Escherichia coli activity.** Ultrasonics Sonochemistry, [s. l.], v. 82, 2022. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105904>.

SOUZA, T. R. **Óleos essenciais no controle de células planctônicas e sésses de *staphylococcus aureus*.** Universidade Federal de Lavras – MG. 2015.

SRISA, A.; HARNKARNSUJARIT, N. **Antifungal films from trans- cinnamaldehyde incorporated poly(lactic acid) and poly(butylene adipate-co-terephthalate) for bread packaging.** Food Chemistry, v. 333, p. 127537-127549, 2020.

STEFFENS, Andréia Hoeltz. **Estudo da composição química dos óleos essenciais obtidos por destilação por arraste a vapor em escala laboratorial e industrial.** 2010. Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SUNDARARAJAN, B.; MOOLA, A. K.; VIVEK, K.; KUMARI, B. D. R. **Formulation of nanoemulsion from leaves essential oil of Ocimum basilicum L. and its antibacterial, antioxidant and larvicidal activities (Culex quinquefasciatus).** [S. l.]: Elsevier Ltd, ISSN 10961208.v. 125, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.10.017>.

TADROS, T.; IZQUIERDO, P.; ESQUENA, J.; SOLANS, C. **Formations and stability of nano-emulsions.** Advances in Colloids and Interface Science, v. 108-109, p. 303- 318, 2004.

THAKUR, A.; WALIA, M. K.; KUMAR, S. **Nanoemulsion in enhancement of bioavailability of poorly soluble drugs: a review.** Pharmacophore, v. 4, n. 1, p. 15-25, 2013.

VALENTIM, João Augusto; SOARES, Elane Chaveiro. **Extração de Óleos Essenciais por**

**Arraste a Vapor: um kit experimental para o ensino de química.** Química Nova na Escola, v. 40, n. 4, p. 297-301, 2018.

UGARTE, M., Brown, M., Hollywood, K.A. *et al.* **Metabolomic analysis of rat serum in streptozotocin-induced diabetes and after treatment with oral triethylenetetramine (TETA).** *Genome Med* 4, 35 (2012). <https://doi.org/10.1186/gm334>

VELOSO, K. R.; NEVES, M. A. **Diário aromático com óleos essenciais das escrituras sagradas.** Belo Horizonte: Laszlo, 2020.

VIJAYAN, Vinod; MAZUMDER, Avik. **In vitro inhibition of food borne mutagens induced mutagenicity by cinnamon (*Cinnamomum cassia*) bark extract.** *Drug And Chemical Toxicology*, v. 41, n. 4, p. 385-393, 2018.

WANG, Jun; SU, Benzhen; JIANG, Haiqiang; et al. **Traditional uses, phytochemistry and pharmacological activities of the genus *Cinnamomum* (Lauraceae): A review.** *Fitoterapia*, v. 146, n. 3, p. 104675, 2020

WOOSTER T.J., GOLDING M., SANGUANSRI P. **Impact of oil type on nanoemulsion formation and Ostwald ripening stability.** *Langmuir*. 2008 Nov 18;24(22):12758-65. doi: 10.1021/la801685v. Epub 2008 Oct 14. PMID: 18850732.

YI, F., SUN, J., BAO, X., MA, B., & SUN, M. **Influence of molecular distillation on antioxidant and antimicrobial activities of rose essential oils.** *Lwt*, [s. l.], v. 102, p. 310–316, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.051>.

ZAIDI, S. F; AZIZ, M.; MUHAMMAD, J. S.; KADOWAKI, M. **Diverse pharmacological properties of *Cinnamomum cassia*: a review.** *Pakistan Journal Of Pharmaceutical Sciences*, Si, v. 28, n. 4, p. 1433-1438, 2015.

ZHANG, C., ZHAO, J., FAMOUS, E., PAN, S., PENG, X., & TIAN, J. A., ZHANG, C., FAN, L.; FAN, S.; WANG, J.; LUO, T.; TANG, Y.; CHEN, Z.; YU, L. ***Cinnamomum cassia* Presl: a review of its traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicology.** *Molecules*, v. 24, n. 19, p. 3473-3503, 2019.



## 8. APÊNDICE

### APÊNDICE I – Produção Científica durante a graduação em Engenharia de Materiais – UFPA/Ananindeua.

#### Trabalhos completos publicados em anais e eventos

Araujo, C.F.A.; Vaz Neto, J.S.V.N.; Rosa, D.L.S.R.; Paula, M.V.S.P. Investigação das características físico-químicas de emulsão do óleo essencial da casca de canela. 2022- AC12-814, p. 1–4. 15º Congresso Latino Americano de Química, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: [https://www.abq.org.br/claq/trabalhos\\_aceitos\\_detalhes,814.html](https://www.abq.org.br/claq/trabalhos_aceitos_detalhes,814.html).

ARAUJO, C. F.; SIQUEIRA, A. S. ; VAZ NETO, J. S. ; SILVA, F. P. ; FERREIRA, J. G. M. . PROCESSO DE ATOMIZAÇÃO EM METALURGIA DO PÓ, UMA REVISÃO. III COBICET - Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia, 2022, Brasil. Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/cobicet2022/515663-processo-de-atomizacao-em-metalurgia-do-po-uma--revisao/>

FERREIRA, J. G. M. ; SIQUEIRA, A. S. ; PAMPOLHA, I. C. ; SILVA, F. P. ; ARAUJO, C. F. ; VAZ NETO, J. S. ; DIAS, A. K. B.; FASES DO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO NA METALURGIA DO PÓ: UMA REVISÃO. III COBICET - Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia, 2022, Brasil. Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/cobicet2022/515633-fases-do-processo-de-sinterizacao-na-metalurgia-do-po--uma-revisao/>

SILVA, F. P. ; ARAUJO, C. F. ; VAZ NETO, J. S. ; FERREIRA, J. G. M.; CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES E TRATAMENTO TÉRMICO DO BRONZE METÁLICO, UMA REVISÃO. III COBICET - Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia, 2022, Brasil. Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/cobicet2022/521179-caracteristicas-propriedades-e-tratamento-termico-do-bronze-metalico-uma-revisao/>

VAZ NETO, J. S. ; ARAUJO, C. F. ; SILVA, F. P. ; FERREIRA, J. G. M. ; SIQUEIRA, A. S. . LIGAS MECÂNICAS EM METALURGIA DO PÓ: UMA REVISÃO. III COBICET - Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia, 2022, Brasil. Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, 2022. Disponível em:

<https://www.even3.com.br/anais/cobicet2022/520451-ligas-mecanicas-em-metallurgia-do-p--uma-revisao/>

### **Resumos apresentados em anais e eventos**

ARAUJO, C. F.; CÂNCIO, K. C. A.; NASCIMENTO, R. S.; FREITAS, K. H. G.; FERREIRA, R. K.; LUZ, T. S. P.; FIGUEIRA, B. A. M. Síntese e caracterização de peneira molecular com estrutura zeólita F de rejeitos de caulim da Amazônia. In: 35º Congresso Latinoamericano de Química e 61º Congresso Brasileiro de Química, 2022, Rio de Janeiro. Anais do Evento - Trabalhos aprovados e apresentados, 2022. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2022/trabalhos/13/766-630.html>

RODRIGUES, B. S.; BOTELHO, E. V. D.; SILVA, L. B. M.; NASCIMENTO, R. S.; ARAUJO, C. F.; LIMA, A. G.; FIGUEIRA, B. A. M.; ALMEIDA, A. L. Caracterização espectroscópica de Na-chabazita obtida de rejeitos de caulim da Amazônia. 35º Congresso Latinoamericano de Química e 61º Congresso Brasileiro de Química, 2022, Rio de Janeiro. Anais do Evento - Trabalhos aprovados e apresentados, 2022. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2022/trabalhos/5/975-487.html>

BOTELHO, E. V. D.; RODRIGUES, B. S.; ARAUJO, C. F.; ALMEIDA, A. L.; NASCIMENTO, R. S.; BATISTA, R. G. C.; LEITE, W. C.; SILVA, E. S.; FIGUEIRA, B. A. M. Síntese por fusão alcalina de zeólita P1 a partir de rejeitos da mineração da Amazônia. 35º Congresso Latinoamericano de Química e 61º Congresso Brasileiro de Química, 2022, Rio de Janeiro. Anais do Evento - Trabalhos aprovados e apresentados, 2022. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2022/trabalhos/12/815-27.html#:~:text=Os%20rejeitos%20da%20minera%C3%A7%C3%A3o%20da%20Amaz%C3%B4nia%20foram%20convertidos%20com%20sucesso,para%20a%20sustentabilidade%20da%20Amaz%C3%B4nia.>

CHAVES, J. P. R.; SOUZA, J. S.; SILVA, C. M. C.; VALENTE, J. T.; OLIVEIRA, B. S.; ARAUJO, C. F.; MORAES, G. L. 'CONTEXTUALIZANDO OS CONCEITOS DE ÁTOMO E ELEMENTO QUÍMICO A PARTIR DA LEITURA DE RÓTULOS/EMBALAGENS'. 35º Congresso Latinoamericano de Química e 61º Congresso Brasileiro de Química, 2022, Rio de Janeiro. Anais do Evento - Trabalhos aprovados e apresentados, 2022. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2022/trabalhos/6/644-461.html>

VAZ NETO, J. S. ; ARAUJO, C. F. ; SILVA, F. P. ; TRINDADE, L. F. ; VAZ, V. S. Utilização de laboratórios virtuais na abordagem dos conceitos da Lei de Faraday-Lenz como recurso de aprendizagem em Física na Engenharia 2021 (Resumo Expandido). Worskshop de ensino de física nas engenharias, 2021.

### **Premiação**

2º Lugar na XXXIII Jornada Brasileira de Iniciação Científica em Química, ABQ - 35º Congresso Latinoamericano de Química e 61º Congresso Brasileiro de Química. Rio de Janeiro, 2022.